



TUGAS AKHIR - TI141584

**PEGARUH PH DAN KECEPATAN PUTARAN
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA
KARBON RENDAH PADA LARUTAN ASAM SULFAT
(H_2SO_4) MENGGUNAKAN *ROTATING CYLINDER
ELECTRODE* (RCE)**

MOHAMMAD FAJAR RAHMAN
NRP. 2712100104

Dosen Pembimbing
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TI141584

**EFFECT OF PH AND ROTATION VELOCITY ON
CORROSION CHARACTERISTIC OF MILD STEEL
IN SULFURIC ACID SOLUTION (H_2SO_4) USING
*ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

MOHAMMAD FAJAR RAHMAN
NRP. 2712100104

Advisor
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

(This page intentionally left blank)

**PENGARUH PH DAN KECEPATAN PUTARAN
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON
RENDAH PADA LARUTAN ASAM SULFAT (H_2SO_4)
MENGUNAKAN *ROTATING CYLINDER ELECTRODE*
(RCE)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
Pada
Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Mohammad Fajar Rahman
NRP. 2712 100 104

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.  Pembimbing

Wikan Jatimurti, ST., M.Sc.  Co-Pembimbing



Januari 2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH PH DAN KECEPATAN PUTARAN
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON
RENDAH PADA LARUTAN ASAM SULFAT (H₂SO₄)
MENGUNAKAN *ROTATING CYLINDER ELECTRODE*
(RCE)**

Nama : Mohammad Fajar Rahman
NRP : 2712100104
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc
Wikan Jatimmurti, S.T., M.Sc

ABSTRAK

Baja karbon rendah merupakan material yang banyak digunakan untuk komponen-komponen industri, seperti pipa dan *pressure vessels*. Keberadaan asam sulfat baik dalam bentuk larutan maupun ion sulfat mampu menurunkan pH fluida yang mengalir di dalamnya. *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) digunakan untuk menentukan karakteristik korosi suatu material karena mampu menyederhakan kondisi di lapangan. Selain itu, RCE juga membutuhkan biaya dan perawatan yang lebih rendah dari pada menggunakan metode *flow loop*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik korosi baja St 42 dengan variasi pH yaitu 3, 4, 5, dan 6 serta kecepatan putaran yaitu 0, 112, dan 560 rpm menggunakan RCE. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan bertambahnya pH larutan asam sulfat mampu menurunkan laju korosi. Laju korosi cenderung meningkat seiring dengan naiknya kecepatan putaran pada pH 3 dan 4. Akan tetapi, laju korosi mengalami penurunan pada pH 5 dan 6 dengan kecepatan putaran 560 rpm. Hal ini disebabkan kemampuan larutan asam sulfat yang lemah untuk mengoksidasi baja dan rendahnya difusi ion hidrogen terhadap permukaan baja karena pengaruh polarisasi konsentrasi pada kecepatan putaran yang tinggi. Laju

korosi paling tinggi didapatkan pada pH 3 dengan kecepatan putaran 560 rpm dengan laju korosi 0,8 mm/y. Adanya kecepatan putaran juga mempengaruhi morfologi permukaan baja berdasarkan hasil pengujian SEM (Scanning Electron Microscope). Kecepatan putaran 560 rpm mengakibatkan permukaan baja menjadi kasar karena adanya gaya geser antara fluida dengan produk korosi yang terbentuk. Namun, hal ini tidak terbukti pada baja dalam larutan asam sulfat pH 6 yang menunjukkan permukaan yang halus dan terbentuk produk korosi yang sedikit. Pengujian XRD (X-Ray Diffraction) menunjukkan produk korosi yang terbentuk pada permukaan baja dalam larutan asam sulfat pH 3 tanpa kecepatan putaran yaitu FeOOH. Hal ini disebabkan reaksi Fe pada baja dengan ion hidroksil pada air (H₂O) yang memiliki jumlah lebih banyak dari pada asam sulfat yang dimasukkan. Produk korosi lainnya yang terbentuk adalah Fe₂O₃ (Hematit). Hematit terbentuk karena adanya kontak produk korosi setelah proses pencelupan dengan udara.

Kata Kunci: pH, Kecepatan putaran, Karakteristik korosi, Mild steel, Asam sulfat, RCE

EFFECT OF PH AND ROTATION VELOCITY ON CORROSION CHARACTERISTIC OF MILD STEEL IN SULFURIC ACID SOLUTION (H₂SO₄) USING ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)

Student's Name : Mohammad Fajar Rahman
NRP : 2712100104
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc
Wikan Jatimmurti, S.T., M.Sc

ABSTRACT

Low carbon steel is a widely materials used for industrial components, such as pipes and pressure vessels. The existence of sulfuric acid in the form of solution or sulfate ions can reduce the pH of the fluid that flows in it. Rotating Cylinder Electrode used to determine the corrosion characteristic of material because it can simplify the conditions on the field. Beside that, RCE also requires lower costs and maintenance than using the flow loop method. This research aims to study the corrosion characteristics of St 42 steel with variations in pH (3, 4, 5, and 6) and rotation velocity is 0, 112, and 560 rpm using RCE. From this research it was found that corrosion rate decrease with the increase of sulfuric acid's pH. Corrosion rate increased with increasing the rotation velocity at pH 3 and 4. However, the corrosion rate decreased at pH 5 and 6 with a rotation velocity of 560 rpm. It's due to the ability of a weak solution of sulfuric acid to oxidize the steel and low diffusion of hydrogen ions to metal surface due to the effect of concentration polarization at high rotation velocity. The highest corrosion rate is on pH 3 and 560 rpm in rotation velocity, its 0,8 mm/y. The existence of a rotation velocity also affect the morphology of the steel surface based on result of SEM (Scanning Electron Microscope) testing. Rotation velocity of 560 rpm affect the steel

surface become rough because of shear stress between solution and steel surface. However, Its not evident on steel in sulfuric acid solution of pH 6 which shows a smooth surface and corrosion product formed slightly. the XRD (X-Ray Diffraction) testing exhibits the corrosion product formed on steel surface in sulfuric acid solution of pH 3 without rotation velocity is FeOOH. This compound formed by the reaction between Fe and hydroxyl ion of water (H₂O) which has much amount than sulfuric acid. The other corrosion product formed is Fe₂O₃ (Hematite). The formation of Hematite is caused by reaction between corrosion product with air after immersed.

Keywords: *pH, Rotation velocity, Corrosion characteristic, Mild steel, Sulfuric acid, RCE*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang berjudul:

“PENGARUH PH DAN KECEPATAN PUTARAN TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI BAJA KARBON RENDAH PADA LARUTAN ASAM SULFAT (H_2SO_4) MENGGUNAKAN *ROTATING CYLINDER ELECTRODE* (RCE)”

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

1. Orang tua penulis, Bapak Suriyadi, S.Pd dan Ibu Sutrani yang selalu mendukung penulis, memberikan berupa moral dan materi.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan dan wawasan kepada penulis.
3. Bapak Wikan Jatimurti, ST. M.Sc. selaku dosen co-pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas Akhir ini.
4. Ibu Diah Susanti, ST.,M.Sc. Ph.D selaku Dosen Wali penulis di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Saudara Gilang Maulana Hidayatullah yang telah menjadi rekan penulis dalam mendesain alat serta membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
7. Pihak Elmech yang telah membantu membuat alat RCE.
8. Teman-teman KNP yang telah memberikan semangat secara moral kepada penulis.
9. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
10. Teman-teman MT 14 yang selalu membantu penulis dengan baik.
11. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 22 Januari 2016

Penulis,

Ucapan Terimakasih

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

1. Orang tua penulis, Bapak Suriyadi, S.Pd dan Ibu Sutrani yang selalu mendukung penulis, memberikan berupa moral dan materi.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan dan wawasan kepada penulis.
3. Bapak Wikan Jatimurti, ST. M.Sc. selaku dosen co-pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas Akhir ini.
4. Ibu Diah Susanti, ST.,M.Sc. Ph.D selaku Dosen Wali penulis di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Saudara Gilang Maulana Hidayatullah yang telah menjadi rekan penulis dalam mendesain alat serta membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
7. Pihak Elmech yang telah membantu membuat alat RCE.
8. Teman-teman KNP yang telah memberikan semangat secara moral kepada penulis.
9. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
10. Teman-teman MT 14 yang selalu membantu penulis dalam menghibur dan menjadi teman bergadang.
11. Pihak-pihak lain yang belum penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu kelancaran tugas akhir penulis. Terima

kasih banyak atas segala dukungannya. Semoga Allah SWT membalas dengan sesuatu yang lebih baik. Amiin.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	1
ABSTRACT	3
KATA PENGANTAR.....	5
DAFTAR ISI.....	7
DAFTAR GAMBAR	9
DAFTAR TABEL	13
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Penelitian.....	2
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Prinsip Dasar dan Mekanisme Korosi Baja pada Asam Sulfat	5
II.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi	11
II.3 Perhitungan Laju Korosi.....	18
II.4 Rotating Cylinder Electrode (RCE)	23
II.5 Perbandingan antara RCE, RDE dan <i>Flow Loop</i>	25
II.6 Penelitian Sebelumnya	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
III.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
III.2 Prosedur Penelitian.....	30

III.3.Pengujian-pengujian.....	37
III.4 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian.....	43
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
IV.1 Hasil Penelitian	45
IV.2 Pembahasan.....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
V.1 Kesimpulan.....	67
V.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	xvii
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sel korosi (Zaki, 2006).....	5
Gambar 2.2 Pembentukan produk korosi FeOOH (Tamura, 2008)	7
Gambar 2.3 Model korosi Evan (Tamura, 2008)	7
Gambar 2.4 Pengaruh konsentrasi larutan korosif terhadap laju korosi (Fontana, 1987)	9
Gambar 2.5 Pengaruh kecepatan terhadap perilaku elektrokimia korosi baja dengan proses katodik kontrol difusi (Fontana 1987)	10
Gambar 2.6 Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi logam dengan kontrol difusi (Fontana, 1987).....	11
Gambar 2.7 Pengaruh laju alir fluida terhadap laju korosi berbagai material pada lingkungan tertentu (Fontana, 1987).....	12
Gambar 2.8 Profil Kecepatan dan konsentrasi fluida (Silverman, 1988)	13
Gambar 2.9 Profil kecepatan (a) aliran laminar (b) aliran turbulen dalam dinding pipa (Schmitt, 2010)	14
Gambar 2.10 Lapisan batas sepanjang plat (Schmitt, 2010).....	15
Gambar 2.11 Proses korosi pada permukaan baja yang tertutup kerak (Schmitt, 2010).....	17
Gambar 2.12 Pengaruh pH terhadap korosi baja dalam air yang beraerasi pada temperatur kamar (Zaki, 2006)	18
Gambar 2.13 Kurva Tafel	21
Gambar 2.14 (a) <i>Rotating Cylinder Electrode</i> (b) Pine AFMSRX <i>Electrode Rotator</i> (Pine Research Instrumentation, 2006)	23
Gambar 3.1 Diagram Alir	29

Gambar 3.2 Pengukuran pH larutan.....	32
Gambar 3.3 Alat RCE.....	32
Gambar 3.4 Gambar alat pengujian RCE (a) kontroler (b) perangkat RCE saat pengujian.....	33
Gambar 3.5 Proses pengamplasan sampel	34
Gambar 3.6 Kondisi spesimen setelah pengamplasan atau sebelum pencelupan	34
Gambar 3.7 Pengukuran berat sample	35
Gambar 3.8 Pengukuran dimensi sampel.....	35
Gambar 3.9 Pengujian <i>weight loss</i> dengan RCE.....	38
Gambar 3.10 Rangkaian pengujian polarisasi.....	40
Gambar 3.11 Alat pengujian polarisasi (PGSTAT302N).....	41
Gambar 3.12 Alat uji SEM (INSPECT S50).....	42
Gambar 3.13 Alat uji XRD (X'Pert PRO Pan Analytical)	42
Gambar 4.1 Rangkaian mikrokontroler RCE	45
Gambar 4.2 Rangkaian RCE keseluruhan.....	47
Gambar 4.3 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm.....	48
Gambar 4.4 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 4 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm.....	48
Gambar 4.5 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 5 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm.....	48
Gambar 4.6 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm.....	49
Gambar 4.7 Pengaruh kecepatan putaran dan pH terhadap laju korosi baja St 42.....	51

Gambar 4.8 Hasil pengujian polarisasi dengan waktu pencelupan 1 jam pada (a) pH 3 dan (b) pH 6 berdasarkan perbedaan kecepatan putaran.....	53
Gambar 4.9 hasil pengujian polarisasi dengan waktu pencelupan 1 jam pada (a) 112 rpm (b) 560 rpm berdasarkan perbedaan pH 55	
Gambar 4.10 Perbandingan hasil laju korosi baja St 42 pada pH 3 dengan waktu pencelupan 1 jam dan 10 hari	56
Gambar 4.11 Perbandingan hasil laju korosi baja St 42 pada pH 6 dengan waktu pencelupan 1 jam dan 10 hari	56
Gambar 4.12 Hasil pengujian polarisasi berdasarkan pengaruh pH	57
Gambar 4.13 Hasil pengujian SEM baja St 42 tanpa perlakuan dengan perbesaran (a) 100x (b) 1000x	58
Gambar 4.14 Hasil pengujian EDX baja St 42 tanpa perlakuan	58
Gambar 4.15 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; tanpa kecepatan putaran	59
Gambar 4.16 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; 560 rpm	59
Gambar 4.17 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6; tanpa kecepatan putaran	60
Gambar 4.18 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6; 560 rpm	60
Gambar 4.19 Hasil pengujian XRD baja ST 42 tanpa perlakuan, produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; 0 rpm dan pH 3; 560 rpm.....	61

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Besaran konstanta faktor yang digunakan berdasarkan satuan (ASM Metal Handbook, 1987).....	19
Tabel 2.2 Konversi beberapa satuan dalam perhitungan laju korosi (ASM Metal Handbook, 1987).....	19
Tabel 2.3 Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi (Calister, 2000)	20
Tabel 2.4 Perhitungan hidrodinamika RCE pada air (Pine Research Instrumentation, 2006).....	24
Tabel 2.5 Perbandingan antara RCE dan RDE (Gabe, 1981).....	25
Tabel 3.1 Komposisi kimia baja st 42.....	30
Tabel 3.1 Tabel rancangan pengujian <i>weight loss</i>	39
Tabel 3.2 Parameter pengujian polarisasi	39
Tabel 3.3 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	43
Tabel 3.4 Rancangan Penelitian.....	44
Tabel 4.1 Pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap laju korosi baja St 42 dalam larutan asam sulfat.	50
Tabel 4.2 Hasil pengujian polarisasi baja St 42 pada larutan asam sulfat dengan variasi pH dan kecepatan putar.....	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Korosi yang berarti peluruhan atau rusaknya suatu material yang disebabkan interaksi dengan lingkungan atau kebalikan dari metalurgi ekstraksi, menjadi masalah yang serius bagi setiap industri (Fontana, 1978). Faktor-faktor yang mempercepat laju korosi antara lain pH, temperatur, jenis aliran, dan kandungan yang terlarut dalam fluida.

Asam Sulfat (H_2SO_4) merupakan asam kuat yang banyak dimanfaatkan oleh industri-industri kimia, petrokimia, pupuk dan lain sebagainya (Harsisto, 2001). Ion sulfat merupakan salah satu ion yang memiliki peran menurun pH fluida. Seperti yang terdapat pada industri panas bumi (geothermal).

Korosi tidak dapat dihindari ataupun dihilangkan. Baja karbon rendah yang biasa digunakan sebagai material penyusun pipa pada industri minyak dan gas tidak lepas dari serangan korosi. Sehingga, dibutuhkan monitoring terhadap laju korosi yang terjadi pada pipa untuk mengetahui karakteristik korosi pada baja tersebut. Monitoring terhadap laju korosi pada suatu pipa industri dapat dilakukan pada kondisi *real* maupun skala laboratorium. Penentuan laju korosi skala laboratorium dapat dilakukan dengan sistem *flow loop*, *Rotating Cylinder Electrode* (RCE), maupun *Rotating Disk Electrode* (RDE). Akan tetapi, sistem *flow loop* memiliki permasalahan yang kompleks, yaitu biaya yang tinggi, perawatan, dan kalibrasi fluida terhadap sampel (Pine, 2006). Sedangkan, RDE tidak cocok untuk aliran fluida yang turbulen karena memiliki *Reynold Critical Value* (Re_{crit}) yang tinggi. RCE memiliki Re_{crit} 100-200. (Gabe, 1981).

Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode *weight loss* dan elektrokimia tafel untuk mengetahui laju korosi terhadap baja karbon rendah. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu pH dengan variasi 3, 4, 5, 6 dan kecepatan putaran 112, 560, dan 0 RPM sebagai variabel kontrol. Waktu



perendaman yang digunakan adalah 10 hari untuk pengujian *weight loss* dan 1 jam perendaman untuk pengujian polarisasi. Pengujian karakterisasi material dilakukan untuk menentukan karakteristik korosi baja karbon rendah dalam lingkungan asam sulfat dengan variasi pH dan kecepatan putaran.

I.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji pada penelitian ini dengan mempertimbangkan kondisi di lapangan dan penelitian yang pernah dilakukan antara lain:

1. Bagaimana pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap laju korosi baja St 42 menggunakan sistem *Rotating Cylinder Electrode*?
2. Bagaimana pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap morfologi permukaan baja St 42 menggunakan sistem *Rotating Cylinder Electrode*?

I.3 Batasan Masalah

Untuk memperkecil ruang lingkup pada penelitian ini maka diberikan batasan masalah sebagai berikut.

1. Kecepatan putaran konstan selama waktu pencelupan/perendaman.
2. Sampel memiliki kekasaran permukaan yang halus dan tidak memiliki cacat.
3. Temperatur, tekanan, dan volume fluida konstan selama perendaman.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap laju korosi baja St 42 menggunakan sistem *Rotating Cylinder Electrode*.
2. Menganalisis pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap morfologi permukaan baja St 42 menggunakan sistem *Rotating Cylinder Electrode*.



I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sebagai informasi yang saling melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya mengenai laju korosi menggunakan *Rotating Cylinder Electrode*.
2. Mampu memberikan inspirasi dan motivasi bagi peneliti lain agar dapat terus mengembangkan potensi yang ada pada penggunaan alat *Rotating Cylinder Electrode*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

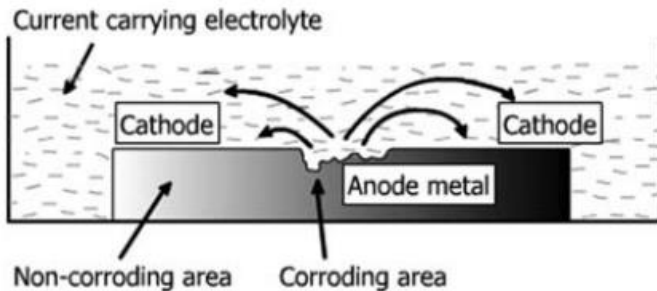
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Prinsip Dasar dan Mekanisme Korosi Baja pada Asam Sulfat

Korosi merupakan penggerusan permukaan yang terjadi pada logam yang terekspos dengan lingkungan yang reaktif. Korosi juga disebut sebagai hasil interaksi antara logam dengan lingkungan yang menimbulkan penurunan kualitas dan kualitas dari logam tersebut (Zaki, 2006).

Korosi dapat terjadi dengan beberapa syarat atau komponen berikut yang membentuk sel korosi, seperti pada gambar 2.1

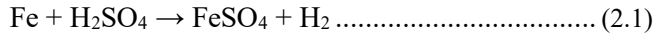
- Anoda; salah satu dari 2 logam yang berbeda dalam sel elektrokimia yang terdapat di kutub negatif sehingga berfungsi untuk melepas elektron.
- Katoda; logam lain dalam rangkaian sel elektrokimia yang terdapat di kutub positif sehingga berfungsi menerima elektron.
- Elektrolit; larutan yang dapat mengalirkan listrik dengan baik.
- Kontak logam (Metallic Path); penghubung antara anoda dengan katoda yang dapat menghantarkan listrik dengan baik.



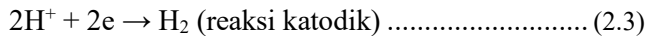
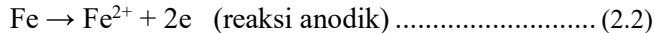
Gambar 2.1 Sel korosi (Zaki, 2006)



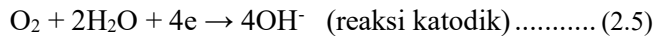
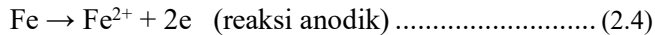
Ketika baja dicelup ke dalam larutan asam sulfat maka terjadi reaksi korosi seperti berikut



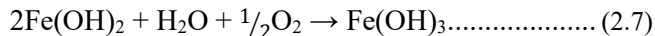
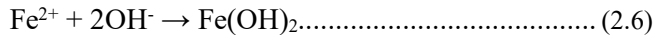
Reaksi diatas merupakan hasil setengah reaksi seperti berikut



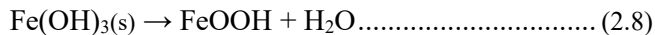
Akan tetapi, mekanisme korosi baja pada larutan encer adalah sebagai berikut (ASM Metals Handbook, 1987)



Reaksi selanjutnya menghasilkan $\text{Fe}(\text{OH})_2$

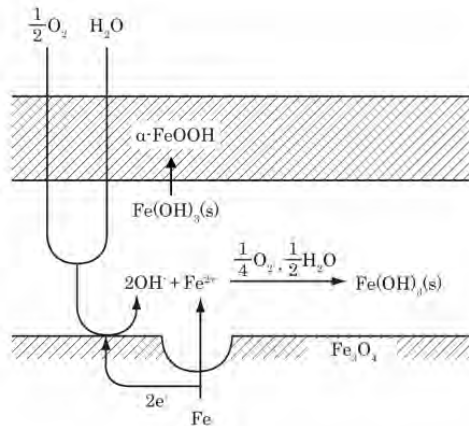


Seiring dengan bertambahnya waktu maka terjadi proses *aging* yang mengakibatkan dehidrasi meskipun terdapat air (Tamura, 2008)



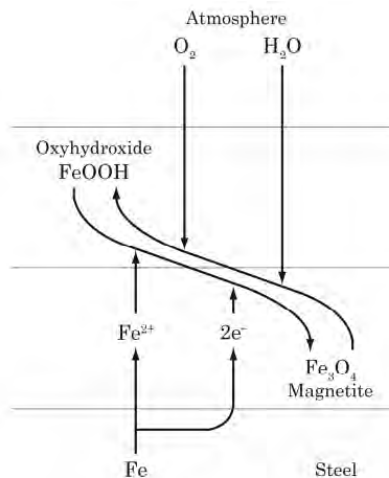
Pada kondisi ini tidak tidak mengkonsumsi maupun menghasilkan asam atau basa sehingga tidak merubah nilai pH larutan. Besi (III) oksihidroksida yang paling banyak ditemui adalah jenis $\alpha\text{-FeOOH}$ dengan ciri-ciri memiliki warna kuning hingga coklat.

Poroduk korosi FeOOH yang menutupi permukaan baja memungkinkan untuk larut sebagian atau mengalami kerusakan karena pengaruh aliran atau lainnya. Apabila pada proses ini tidak ada ion Fe yang bereaksi dengan ion hidroksil maka besi (III) oksihidroksida akan membentuk oksida non-hidrat, seperti *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Proses pembentukan FeOOH ini digambarkan oleh gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 Pembentukan produk korosi FeOOH (Tamura, 2008)

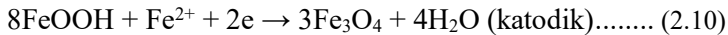
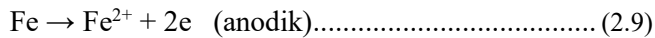
Pembentukan produk korosi berupa besi (III) oksihidroksida dapat terjadi secara siklus dengan evan model seperti pada gambar 2.3 sebagai berikut



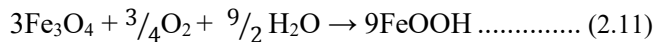
Gambar 2.3 Model korosi Evan (Tamura, 2008)



Reaksi-reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut



Ketika Fe_3O_4 (Magnetite) bereaksi dengan oksigen dan air dari luar lingkungan maka akan kembali terbentuk FeOOH kembali.



Sehingga proses ini dapat berlangsung berulang-ulang sesuai dengan lingkungannya.

Pembentukan Fe_2O_3 disebabkan oleh $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang kehilangan airnya karena kontak dengan udara. Fe_2O_3 berasal dari Fe_3O_4 yang mengalami reduksi (ASM Metals Handbook, 1987)

Permasalahan korosi yang terjadi sebagian banyak melibatkan asam mineral, antara lain asam sulfat, asam nitrat dan asam klorida (Fontana, 1987).

- Asam Sulfat

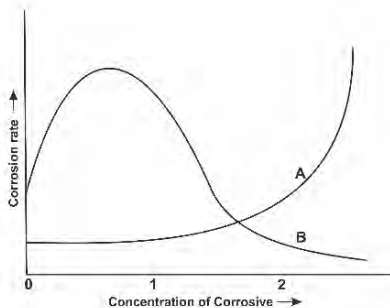
Asam sulfat adalah bahan kimia yang banyak diproduksi di dunia. Asam sulfat biasanya digunakan untuk kebutuhan produksi asam klorida, *pickling* baja dan logam, larutan, obat-obatan, pigmen, deterjen buatan, pemurnian bahan bakar, baterai, hingga produksi karet. Konsumsi asam sulfat seperti produksi baja atau listrik.

Gambar 2.4 merupakan gambar yang menunjukkan pengaruh konsentrasi larutan korosif terhadap laju korosi suatu logam. Logam baja yang dicelupkan ke dalam larutan H_2SO_4 ditunjukkan oleh kurva B. Pada awalnya seiring dengan pertambahan konsentrasi larutan laju korosi meningkat. Hal ini disebabkan oleh jumlah ion hidrogen yang meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi larutan asam sulfat. Pada batas tertentu, terdapat batas dimana laju korosi berada pada posisi maksimum. Pada konsentrasi asam yang semakin tinggi mengakibatkan ionisasi asam berkurang.



Oleh karena itu, asam sulfat bersifat inert dalam keadaan murni atau 100%.

Al-Turkustani (2010) dari penelitian yang sudah dilakukan menyatakan bahwa laju korosi pada baja karbon rendah meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi H_2SO_4 .



Kurva A:

- 1 : Ni dalam NaOH
- 18Cr-8Ni dalam HNO_3
- Hastelloy 8 dalam HCl
- 1-2: Monel in HCl
- Pb in H_2SO_4

Kurva B:

- Al dalam asam asetat
- 18Cr-8Ni dalam H_2SO_4
- Fe dalam H_2SO_4

Gambar 2.4 Pengaruh konsentrasi larutan korosif terhadap laju korosi (Fontana, 1987)

Reaksi korosi dan perilakunya dapat ditelaah dengan mempelajari konsep polarisasi. Ketika logam tidak berada dalam kondisi setimbang dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih diantara keduanya disebut dengan polarisasi (Trethewey, 1988). Polarisasi dibagi menjadi 2, yaitu polarisasi aktivasi dan konsentrasi. Polarisasi aktivasi merupakan proses elektrokimia yang dikontrol oleh urutan reaksi pada daerah antarmuka logam dengan elektrolit. Polarisasi aktivasi terkontrol pada kondisi lingkungan yang mengandung ion-ion reaktif dengan kadar tinggi, misalnya asam pekat.

Polarisasi konsentrasi mengacu pada reaksi kimia yang dikontrol oleh difusi elektrolit terhadap permukaan logam. Konsentrasi polarisasi umumnya didominasi ketika konsentrasi ion-ion reduksi kecil, misalnya asam terlarut dan larutan garam. Polarisasi yang dipengaruhi oleh reaksi reduksi berubah ketika ada perubahan ekstrem pada lingkungan (Fontana, 1987). Konsentrasi



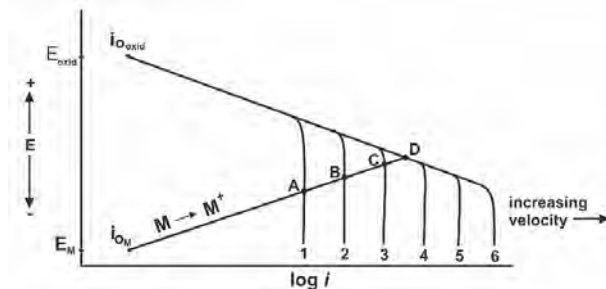
polarisasi digambarkan dengan reaksi reduksi evolusi hidrogen. Pada laju reduksi yang rendah, distribusi ion hidrogen pada larutan yang berkontak atau berdekatan dengan permukaan logam teratur (uniform). Namun, pada laju reduksi yang tinggi, larutan yang berdekatan dengan permukaan logam kehilangan ion hidrogen. Jika laju reduksi ditingkatkan lebih lanjut, maka *limiting rate* atau *limiting diffusion current density* (i_L) tercapai dan menentukan laju difusi ion hidrogen ke permukaan logam.

$$i_L = \frac{D.n.F.C_b}{x} \dots\dots\dots (1)$$

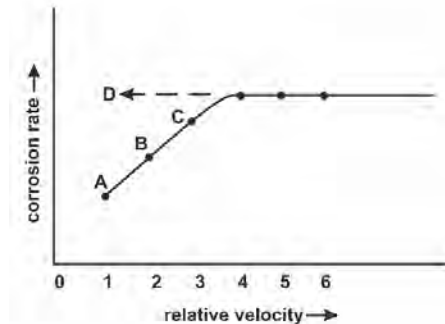
dengan,

- D : koefisien difusi ion reaktif
- F : konstanta faraday
- C_b : konsentrasi ion pada *bulk solution*
- x : ketebalan lapisan difusi

ketebalan lapisan difusi dipengaruhi oleh bentuk elektroda, geometri sistem, dan agitasi. Agitasi mengakibatkan tipisnya lapisan difusi. *Limiting diffusion current density* hanya signifikan selama proses reduksi, namun diabaikan saat reaksi pelarutan logam. Hal yang sama terjadi ketika kenaikan kecepatan aliran fluida, dimana *limiting diffusion current density* juga meningkat seperti gambar 2.5



Gambar 2.5 Pengaruh kecepatan terhadap perilaku elektrokimia korosi baja dengan proses katodik kontrol difusi (Fontana 1987)



Gambar 2.6 Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi logam dengan kontrol difusi (Fontana, 1987)

Gambar 2.6 memberitahukan bahwa dari titik A – C laju korosi meningkat seiring naiknya kecepatan fluida, namun pada kecepatan yang lebih tinggi, yaitu titik D menjadi titik dimana laju korosi tidak lagi bergantung terhadap kecepatan aliran fluida.

Faktor-faktor yang mempengaruhi polarisasi konsentrasi antara lain:

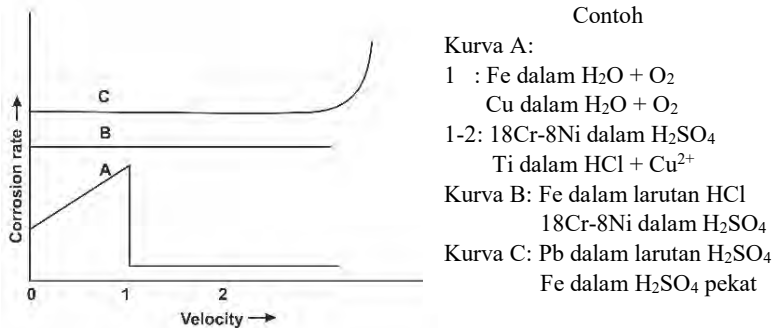
- Agitasi
Dengan adanya agitasi, ketebalan lapisan difusi menurun dan laju difusi ion meningkat. Sehingga, polarisasi konsentrasi turun dan laju korosi meningkat.
- Temperatur
Seiring dengan kenaikan temperatur, ketebalan lapisan difusi menurun dan laju korosi meningkat.
- Kecepatan aliran
Kecepatan aliran yang tinggi menyebabkan turunnya polarisasi konsentrasi (Zaki, 2006).

II.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi

Laju korosi terhadap suatu logam dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Laju korosi meningkat pada kondisi ekstrim, yaitu temperatur tinggi, tekanan tinggi, dan aliran turbulen (Pine Research Instrument, 2006).



Aliran fluida yang turbulen menjadi salah satu penyebab laju korosi pada suatu logam meningkat. Efek laju korosi oleh kecepatan aliran sama dengan penambahan *oxidizer*, yaitu kompleks dan bergantung pada karakteristik logam dan lingkungan dimana logam berada. Gambar 2.7 merupakan pengaruh laju alir fluida terhadap laju korosi suatu logam



Gambar 2.7 Pengaruh laju alir fluida terhadap laju korosi berbagai material pada lingkungan tertentu (Fontana, 1987)

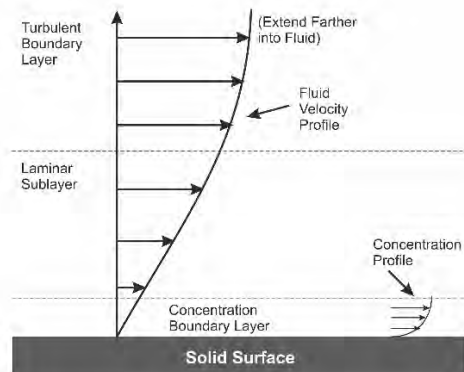
Proses korosi yang dikontrol oleh polarisasi aktivasi, agitasi dan laju alir tidak memiliki efek terhadap laju korosi yang ditunjukkan pada kurva B. Proses korosi dengan kontrol difusi katodik, agitasi mengakibatkan laju korosi karena adanya penambahan oxidizer atau oksigen yang terlarut dalam asam atau air. Ketika logam telah dalam keadaan pasif (terlindungi dengan lapisan oksida) maka laju korosi menurun seperti ditunjukkan oleh kurva A. Beberapa logam dalam media tertentu membentuk lapisan sulfat pelindung, namun bersifat lemah. Hal ini terjadi pada timbal dan baja yang berada di lingkungan asam sulfat. Ketika material berada di lingkungan yang sangat korosif dengan laju alir yang tinggi, maka kerusakan lapisan pelindung secara mekanik dapat terjadi seperti ditunjukkan oleh kurva C (Fontana, 1987).

Fluida yang melintas di permukaan logam digambarkan seperti gambar beberapa lapisan yang masing-masing bergerak



dengan kecepatan berbeda (gambar 2.8). Lapisan yang paling lambat adalah lapisan yang paling dekat dengan permukaan logam tempat gaya-gaya gesekan dan tumbukan-tumbukan molekul dengan bagian permukaan yang tidak beraturan paling besar, dan kecepatan lapisan itu meningkat hingga maksimum pada jarak tertentu dalam badan fluida. Efek ini dikenal sebagai aliran laminar dan akibat yang ditimbulkannya bermacam-macam.

- Suatu kesetimbangan terbentuk pada permukaan logam yang dalam keadaan statis bila proses katodik dan anodik berjalan dengan laju yang sama besar. Apabila ion-ion yang terkorosi dipindahkan dari sistem oleh elektrolit yang mengalir maka kesetimbangan tidak terbentuk sehingga meningkatkan laju pelarutan.
- Aliran yang cukup kuat mengakibatkan bertambahnya oksigen, hal ini mengakibatkan adanya kontak logam dengan oksigen sehingga membentuk lapisan oksida yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam.
- Laju aliran meningkatkan jumlah ion-ion agresif seperti klorida dan sulfida.
- Jika di dalam fluida terdapat partikel-partikel solid, lapisan mungkin mengalami penggerusan sehingga korosi meningkat.



Gambar 2.8 Profil Kecepatan dan konsentrasi fluida (Silverman, 1988)

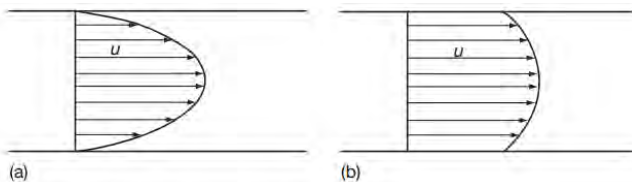
Profil kecepatan fluida dalam pipa dikategorikan menjadi aliran laminar atau turbulen dapat diketahui dari *reynold number* (Re) dari fluida tersebut dengan persamaan

$$Re = \frac{u.L}{\nu} = \frac{u.\rho.L}{\mu} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan u adalah kecepatan rata-rata fluida (m/s), L adalah panjang pipa (m), ρ adalah densitas, ν adalah *kinematic viscosity* (m^2/s^1), dan μ adalah viskositas (kg/m^3). Sehingga, dari persamaan tersebut didapatkan nilai kritis Re untuk aliran dalam pipa adalah

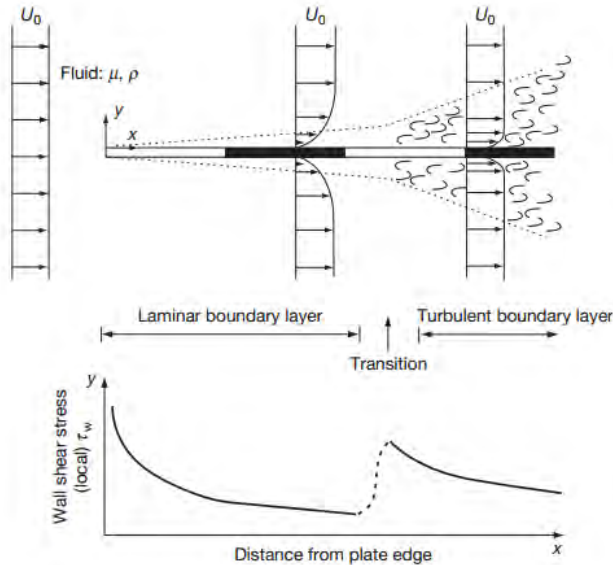
- Aliran laminar pada $Re < 2300$
- Aliran transisi pada rentan $2300 < Re < 4000$
- Aliran turbulen pada $Re > 4000$

Aliran yang mengalir dalam pipa menghasilkan gesekan dengan dinding pipa dan mengakibatkan adanya arus di daerah dekat dinding. Pada aliran laminar gaya ini kemudian hilang di tengah pipa. Hal ini mengakibatkan adanya pengaruh kekasaran permukaan terhadap gesekan dan hilangnya gaya gesekan terhadap dinding pipa. Kondisi ini ditunjukkan oleh gambar 2.9 sebagai berikut.



Gambar 2.9 Profil kecepatan (a) aliran laminar (b) aliran turbulen dalam dinding pipa (Schmitt, 2010)

Fluida yang mengenai dinding membentuk lapisan batas (*boundary layer*). Semakin besar nilai Re maka lapisan batas ini semakin menipis. Dengan kata lain aliran yang turbulen memiliki lapisan batas yang sangat tipis bahkan tidak ada. Lapisan batas terletak diantara *bulk flow* dan dinding solid.



Gambar 2.10 Lapisan batas sepanjang plat (Schmitt, 2010)

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa ketebalan lapisan batas bertambah seiring dengan jarak dan mengakibatkan perubahan hingga menjadi aliran yang turbulen. Tegangan geser pada dinding (wall shear stress) yang dihasilkan oleh fluida dalam pipa dipengaruhi oleh jenis aliran dalam fluida tersebut. Tegangan geser ini mengalami penurunan pada daerah transisi dan meningkat kembali pada aliran turbulen.

Pada permukaan logam yang tidak membentuk produk korosi atau kerak pada permukaan logam, aliran tetap mempengaruhi difusi larutan berdasarkan hukum Fick's

$$j_D = \frac{z.F.D\Delta c}{d_N} \dots\dots\dots (3)$$

$$d_N = \frac{1}{u_0^n} \dots\dots\dots (4)$$



Dengan j_D adalah *diffusion current density*, z adalah nilai elektron yang berubah pada reaksi katodik, F adalah konstanta faraday (96.485 C/mol), D adalah koefisien difusi ion (m^2/s), Δc adalah selisih konsentrasi ion di daerah *bulk solution* dengan permukaan logam, d_N adalah *Nernst diffusion layer thickness*, dan u_0 adalah kecepatan fluida. (Schmitt, 2010)

Schmidt number (Sc) yang merupakan perbandingan antara *kinematic viscosity* dengan koefisien difusi memiliki persamaan sebagai berikut

$$Sc = \frac{v}{D} = \left(\frac{u_0 \cdot l}{D} \right) : \left(\frac{u_0 \cdot l}{v} \right) = \frac{P_e}{Re} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- v : *kinematic viscosity* (m^2/s)
 D : koefisien difusi katodik (m^2/s)
 u_0 : kecepatan (m/s)

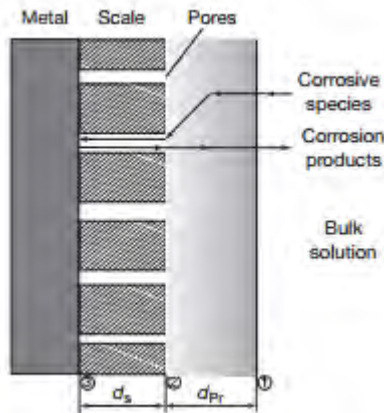
Dengan P_e adalah *Peclet Number* $\left(\frac{u_0 \cdot l}{D} \right)$ dan Re adalah kekasaran permukaan $\left(\frac{u_0 \cdot l}{v} \right)$.

Pada aliran turbulen, persamaan umum tranport massa (Sh) adalah

$$Sh = a \cdot Sc^b Re^c \dots\dots\dots (6)$$

Dengan Sc adalah *Schmidt number* dan Re adalah *Reynold number*.

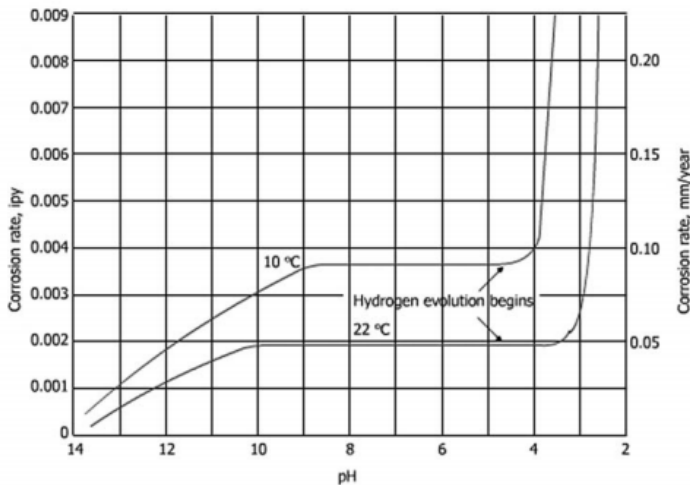
Apabila terdapat kerak yang menutupi permukaan logam maka difusi dipengaruhi oleh ukuran pori-pori dan densitas larutan, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.11 Secara umum, pada kondisi ini laju korosi hampir tidak bergantung pada aliran.



Gambar 2.11 Proses korosi pada permukaan baja yang tertutup kerak (Schmitt, 2010)

Trethewey (1991) menyatakan bahwa sebagai akibat laju aliran yang tinggi mengakibatkan hancurnya aliran laminar dan terjadinya turbulensi. Molekul-molekul fluida kini memberikan tekanan langsung pada logam dan benturan-benturan mengakibatkan keausan mekanik. Kecepatan adalah salah satu yang menyebabkan suatu aliran mengalami turbulensi, geometri sistem dapat menyumbangkan peran besar dalam menentukan terjadinya serangan.

Zaki (2006) menyatakan bahwa korosi pada baja karbon dan paduannya dipengaruhi oleh oksigen yang terlarut, pH, elemen paduan, *hidrogen attack*, dan alkali. pH menjadi perhatian yang serius karena kondisi di lapangan, suatu fluida memiliki pH tertentu dalam sebuah instalasi perpipaan. Pada rentang 4-10, laju korosi tidak bergantung pada pH akan tetapi berdasarkan banyaknya oksigen yang berdifusi. Pada pH kurang dari 4, evolusi hidrogen menjadi faktor utama. Sedangkan pH diatas 10, laju korosi mengalami penurunan karena pasivasi pada permukaan logam oleh oksigen dan alkali. Pengaruh pH pada korosi baja dalam air yang beraerasi pada temperatur kamar pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Pengaruh pH terhadap korosi baja dalam air yang beraerasi pada temperatur kamar (Zaki, 2006)

II.3 Perhitungan Laju Korosi

II.3.1 Metode Pengurangan Berat (Weight Loss)

Salah satu kegiatan dari *corrosion monitoring* adalah mengetahui laju korosi pada suatu logam, sehingga dapat memprediksi kapan dan berapa lama logam tersebut mampu bertahan dari proses korosi. Untuk mengetahui laju korosi maka perlu menggunakan metode wight loss atau pengurangan berat awal dengan berat akhir setelah pengujian. Menurut ASTM G1-03 setelah memperoleh berat akhir pada proses percobaan maka untuk memperoleh laju korosi maka menggunakan rumus

$$\text{Corrosion Rate (CR)} = \frac{k.W}{D.A.t} \dots\dots\dots (7)$$

W: Berat yang hilang (mg)

D : densitas dari sampel uji yang digunakan (g/cm³)

A : luas area dari sampel uji yang digunakan (cm²)

T : waktu ekspos (jam)

K : konstanta faktor



Tabel 2.1 Besaran konstanta faktor yang digunakan berdasarkan satuan (ASM Metal Handbook, 1987)

Corrosion rate units desired	Constant K in corrosion rate equation
Mils per year (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^4
Inches per month (ipm)	2.87×10^2
Millimeters per year (mm/yr)	8.76×10^4
Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	8.76×10^7
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^6
Grams per square meter per hour ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	$1.00 \times 10^3 \times \rho$
Milligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times \rho$
Micrograms per square meter per second ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times \rho$

Note: ρ is the density in g/cm^3 . Source: Ref 155

konversi masing-masing satuan yang biasa digunakan dalam perhitungan laju korosi ditunjukkan oleh tabel 2.2 seperti berikut.

Tabel 2.2 Konversi beberapa satuan dalam perhitungan laju korosi (ASM Metal Handbook, 1987)

d is metal density in grams per cubic centimeter (g/cm^3)

Unit	Factor for conversion to					
	mdd	$\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$	$\mu\text{m}/\text{yr}$	mm/yr	mils/yr	in./yr
Milligrams per square decimeter per day (mdd)	1	0.1	36.5/ d	0.0365/ d	1.144/ d	0.00144/ d
Grams per square meter per day ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$)	10	1	365/ d	0.365/ d	14.4/ d	0.0144/ d
Microns per year ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	0.0274/ d	0.00274/ d	1	0.001	0.0394	0.0000394
Millimeters per year (mm/yr)	27.4/ d	2.74/ d	1000	1	39.4	0.0394
Mils per year (mils/yr)	0.696/ d	0.0696/ d	25.4	0.0254	1	0.001
Inches per year (in./yr)	696/ d	69.6/ d	25,400	25.4	1000	1

Perhitungan laju korosi suatu logam dapat ditentukan dengan metode konvensional (weight loss) dan elektrokimia seperti *Linear Polarization Resistance* (LPR) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) (Pine Research Instrumentation, 2006). Scheers (1992) menggunakan metoda LPR untuk menentukan laju korosi pada baja karbon rendah.

Berdasarkan ketahanan suatu logam terhadap korosi, tabel 2.3 berikut ini merupakan pengkategorian hubungan laju korosi terhadap ketahanan korosi.



Tabel 2.3 Hubungan laju korosi dan ketahanan korosi
(Calister, 2000)

Ketahanan korosi	laju korosi				
	Mpy	Mm/yr	μm/yr	Nm/yr	Pm/s
Sangat baik	<1	<0,02	<25	<2	<1
Baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Cukup	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	20-50
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200

II.3.2 Metode Ekstrapolasi Tafel

Pengukuran polarisasi adalah pengujian tidak merusak dan dapat dilakukan beberapa kali untuk mengukur kecepatan korosi secara beruntun pada elektroda yang sama.

Potensial polarisasi, η atau potensial lebih, adalah selisih antara potensial terapan terhadap potensial korosi logam pada keadaan kesetimbangan dengan ionnya dalam larutan (elektrolit). Parameter ini dapat digunakan untuk menyatakan laju pelarutan atau laju proses korosi logam yang bersangkutan, yang dikenal dengan persamaan Tafel sebagai berikut

Untuk polarisasi anodik,

$$\eta_{\alpha} = \beta_{\alpha} \log i_{\alpha} - \beta_{\alpha} \log i_0 \dots\dots\dots (8)$$

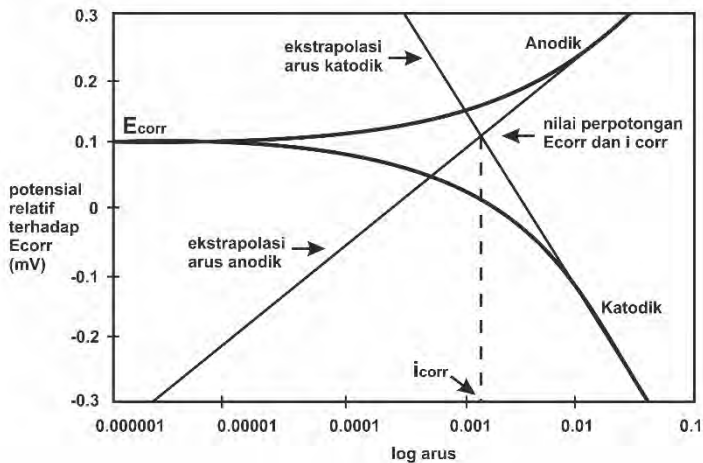
Untuk polarisasi katodik,

$$\eta_{\text{k}} = \beta_{\text{k}} \log i_{\text{k}} - \beta_{\text{k}} \log i_0 \dots\dots\dots (9)$$

Dengan η_{α} η_{k} i_{α} i_{k} dan i_0 berturut turut adalah potensial polarisasi anodic, potensial polarisasi katodik, rapat arus anodic, rapat arus katodik dan rapat arus korosi pada kesetimbangan . sedangkan β_{α} dan β_{k} disebut sebagai tetapan tetapan Tafel atau beta anodic



dan beta katodik. Ungkapan persamaan di atas menunjukkan bahwa aluran η terhadap $\log I$ baik pada proses anodik maupun proses katodik berupa suatu garis lurus dengan kemiringan sama dengan tetapan Tafel yang bersangkutan. Pada saat E_{corr} $\eta = 0$ dan tetapan tetapan Tafel dinyatakan dalam besaran mV/decade. Tetapan ini digunakan untuk menentukan rapat arus korosi yang berbanding langsung dengan laju korosi. Kurva yang di peroleh dari pengukuran ini seperti pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Kurva Tafel

Rapat arus sebanding dengan laju korosi, karena arus yang sama bila terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil menghasilkan laju korosi yang lebih besar. Dengan anggapan bahwa korosi berlangsung seragam, atau merata pada seluruh permukaan logam, laju penetrasi korosi persatuan waktu dapat dinyatakan dalam mm/year.

Kinetika elektrokimia pada sebuah metal yang terkosi dapat dikarakteristikan dengan penentuan kurang lebih 3 parameter polarisasi seperti *Corrosion current density*, *corrosion potensial*, dan *Tafel Slopes*. Kemudian perilaku korosi dapat diperlihatkan oleh sebuah kurva polarisasi (E vs $\log i$). evaluasi dari 3 parameter



berikut mengarah ke penentuan polarization resistance (RP) dan Corrosion rate (CR).

Dengan menggunakan persamaan faraday, maka laju korosi dari suatu logam dalam sistem potensiostat dapat dicari.

$$Q = \frac{n.F.W}{M} \dots\dots\dots (10)$$

dimana:

- Q : muatan listrik (C)
n : jumlah elektron yang bereaksi
W : berat spesimen (gram)
M : berat molekul (gram)
F : konstanta *faraday*

Persamaan selanjutnya menjadi:

$$W = \frac{i.t.EW}{F} \dots\dots\dots (11)$$

i = Arus

t = Waktu (second)

EW = Equivalent weight.

Laju korosi (CR) dinyatakan sebagai jumlah massa yang hilang per waktu, sehingga dapat dinyatakan seperti:

$$CR = \frac{w}{t} = \frac{i.EW}{dFA} \dots\dots\dots (12)$$

$$CR = \frac{i.EW \times 31,6 \times 10^6 \times 6 \times 10^3}{dFA \times 2,5 \times 10^6} \dots\dots\dots (13)$$

$$CR = \frac{0,13.i_{corr}.EW}{\rho} \dots\dots\dots (14)$$

Dengan mengkonversikan CR dengan satuan mpy ke CR dengan satuan mmpy, maka persamaan 11 berubah menjadi:



$$CR = \frac{K I_{corr} EW}{\rho} \dots \dots \dots (15)$$

Dimana :

CR : Laju Korosi (mm/year) untuk I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$).

K1 : $3,27 \times 10^{-3} \text{ mm g}/\mu\text{A cm}$.

i_{corr} : Rapat arus saat E_{corr} $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (*exchange current density*).

ρ : massa jenis (g/cm^3).

EW : *Equivalent Weight* (berat ekuivalen)

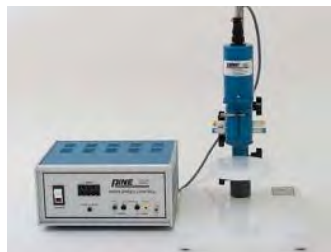
II.4 Rotating Cylinder Electrode (RCE)

Rotating Cylinder Electrode (RCE) merupakan alat yang dapat memutar sampel logam yang tercelup ke dalam fluida dengan kecepatan putar yang disesuaikan dengan keadaan kecepatan aliran fluida di dalam pipa (Pine Research Instrumentation, 2006). Oleh karena itu, Scheers (1992) menggunakan RCE untuk menentukan laju korosi pada pipa yang mengalirkan air tambang.

Gambar 2.14 merupakan rangkaian RCE, satu rangkaian RCE terdiri dari 3 bagian. Bagian atas terdiri dari beberapa komponen, antara lain motor dan poros yang dibungkus dengan teflon untuk menghindari kontak dengan fluida. Bagian tengah merupakan elektroda yang berbentuk silinder. Bagian bawah adalah *stainless steel* yang dibungkus dengan teflon.



(a)



(b)

Gambar 2.14 (a) *Rotating Cylinder Electrode* (b) *Pine AFMSRX Electrode Rotator* (Pine Research Instrumentation, 2006)



Kecepatan putar dari elektroda dapat diatur sesuai dengan kecepatan aliran fluida di dalam pipa menggunakan persamaan (Pine Research Instrumentation, 2006)

$$U_{cyl} = \omega \cdot r_{cyl} = \pi \cdot d_{cyl} \cdot F / 60 \dots\dots\dots (16)$$

dengan U_{cyl} adalah kecepatan linear fluida (m/s), ω adalah kecepatan putar (rad/s) atau F (RPM), d_{cyl} adalah diameter luar silinder (cm) dan $r_{cyl} = d_{cyl} / 2$.

Pine Research Instrumentation (2013) menggunakan fluida air sebagai elektrolit pada RCE dengan variasi kecepatan putar dari 5-4000 RPM ditunjukkan oleh tabel 2.4

Tabel 2.4 Perhitungan hidrodinamika RCE pada air (Pine Research Instrumentation, 2006)

Rotation Rate F (RPM)	Rotation Rate (rad/s)	Surface Velocity U_{cyl} (cm/s)	Wall Shear Stress τ_{cyl} (g/cm.s ²)	Reynolds Number* Re (unitless)
5	0,524	0,39	0,0035	66
10	1,047	0,79	0,0113	131
20	2,094	1,57	0,0366	263
50	5,236	3,93	0,1737	657
100	10,47	7,85	0,5642	1315
200	20,94	15,7	1,8332	2629
250	26,18	19,6	2,6789	3287
500	52,36	39,3	8,7039	6573
1000	104,7	78,5	28,279	13146
2000	209,4	157	91,879	25293
3000	314,2	236	183,05	39439
4000	418,9	314	298,52	52586

Aliran dibagi menjadi 2, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Dari rentang kecepatan putar tersebut terdapat daerah transisi antara laminar dan turbulen berdasarkan *reynold number*



(Re). Menurut Gabe (1981) menyatakan bahwa transisi antara aliran laminar dan turbulen terjadi pada $Re = 100-200$, dengan kecepatan putar 2-4 RPM dan diameter silinder 1 cm. Perhitungan Re_{crit} dapat diperoleh menggunakan persamaan

$$Re_{crit} = \left(11,8 \cdot d/e\right)^{1,18} \dots\dots\dots (17)$$

dengan d adalah diameter silinder dan e adalah kekasaran silinder.

II.5 Perbandingan antara RCE, RDE dan Flow Loop

Simulasi perhitungan laju korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu *Rotating Cylinder Electrode* (RCE), *Rotating Disk Electrode* (RDE), dan *Flow Loop*. RCE biasa digunakan pada penelitian dengan aliran yang turbulen dan transfer massa yang tinggi (Gabe, 1981). Tabel 2.5 merupakan perbandingan antara RCE dan RDE

Tabel 2.5 Perbandingan antara RCE dan RDE (Gabe, 1981)

<i>Characteristic</i>	<i>RCE</i>	<i>RDE</i>
Critical Reynolds number, $Re = Ux/\nu$	200	2×10^5
Critical dimension, x	Diameter	Radius
Friction factor $f/2$, laminar flow	$2Re^{-1,0}$	$0,62Re^{-0,5}$
Friction factor $f/2$, Turbulent flow	$0,079Re^{-0,3}$	$0,0265Re^{-0,2}$
Mass transfer correlation: laminar flow	$Sh = 0,97Re^{0,64}Sc^{0,33}$	$Sh = 0,62Re^{0,5}Sc^{0,33}$
Turbulent flow	$Sh = 0,97Re^{0,7}Sc^{0,356}$	$Sh = 0,02Re^{0,8}Sc^{0,33}$
Mass transfer variation; $MT \propto U^n$, $MT \propto r^m$:		
laminar flow	$n = 0,33$ $m = 0,4$	$n = 0,5$ $m = 0$
Turbulen flow	$n = 0,7$ (smooth) $n \rightarrow 1,0$ (rough) $m = 0,2$	$n = 0,9$ $m = 0,8$
Typical electrode data:		
r (cm)	10	10
A (cm ²)	3948	314
Ω (rpm)	95,5	95,5
U (cm/s)	100	100
Flow regime	Turbulent	Laminar
Re	2×10^5	10^5
$f/2$	$2,03 \times 10^{-3}$	$1,96 \times 10^{-3}$



Simulasi RDE lebih banyak digunakan dari pada RCE, hal ini disebabkan oleh beberapa alasan, antara lain

- RDE biasa digunakan pada aliran laminar karena rentang nilai Re yang lebar
- Pembuatan dan operasi RDE lebih mudah
- Membutuhkan arus yang lebih sedikit karena laju tranfer massa yang rendah

Berbeda dengan RDE dan RCE yang memperhatikan kecepatan putar dari elektroda, *Flow Loop* merupakan salah satu simulasi skala laboratorium yang digunakan untuk menghitung laju korosi yang disesuaikan dengan kondisi di industri. *Flow Loop* memiliki kelemahan jika dibandingkan dengan RCE atau RDE, yaitu

- Kurang praktis untuk dilakukan skala laboratorium (kompleks)
- Membutuhkan biaya yang besar
- Membutuhkan perawatan yang tinggi

II.6 Penelitian Sebelumnya

Scheers (1992) melakukan penelitian menggunakan fluida air hasil penambangan yang mengandung *sodium chloride* (NaCl) dengan kadar tinggi. Asam sulfat (H_2SO_4) dan sodium hidroksida (NaOH) digunakan untuk mengatur pH elektrolit pada RCE. Pada pH 3, baja yang terlarut oleh elektrolit meningkat dan membentuk lapisan pada permukaan elektroda. Selanjutnya lapisan ini cenderung rusak karena evolusi hidrogen dan oksigen depolarisasi. Laju korosi yang terjadi tidak tergantung pada laju alir melainkan daya ikat lapisan produk korosi dengan permukaan elektroda. Pada pH diantara 4 sampai 10, laju korosi dipengaruhi oleh seberapa cepat difusi oksigen ke dalam permukaan logam, akan tetapi pada pH 6 dan 7 laju korosi juga meningkat. Sehingga, Scheers (1992) menyarankan untuk melakukan pengujian jangka panjang yang disesuaikan dengan keadaan di industri.

Fenomena ini juga terjadi karena pengaruh waktu pengujian (Eliassen, 1956). Eliassen membagi menjadi 2 waktu pengujian,



yaitu penelitian jangka pendek 10 hari dan penelitian jangka panjang 30 hingga 40 hari.

Ellison (1978) juga melakukan penelitian tentang RCE menggunakan perangkat yang diproduksi oleh *Pine Instrument Company* dengan kecepatan putar 400, 900, dan 1600 RPM dengan diameter luar silinder 1,9 cm dan tinggi 2,54 cm. Elektrolit yang digunakan adalah H_2SO_4 dengan kadar 68%-78%. Kadar ini digunakan berdasarkan laju korosi yang paling cepat terjadi pada daerah ini. Ellison menunjukkan peningkatan laju korosi dengan perhitungan *Sherwood number* (Sh^*) dengan persamaan

$$Sh^* = \frac{CR \cdot d}{A(C_{sat} - C_{bulk})D} \dots\dots\dots (18)$$

Dengan CR adalah laju korosi (mm/y), d adalah diameter RCE, ($C_{sat} - C_{bulk}$) adalah perbedaan konsentrasi ion Fe jenuh dengan konsentrasi bulk ion Fe terukur, A adalah faktor konversi, dan D adalah koefisien difusi ion Fe dalam asam sulfat. Perhitungan *Sherwood number* dapat dicari dengan mengetahui nilai Schmidt dan nilai Reynold. Seiring dengan kenaikan nilai Sherwood maka semakin tinggi laju korosi baja. Dengan kata lain laju korosi meningkat dengan naiknya kecepatan putaran karena aliran yang turbulen terjadi pada kecepatan yang tinggi.

Al-Turkustani (2010) dari penelitian yang sudah dilakukan menyatakan bahwa laju korosi pada baja karbon rendah meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi H_2SO_4 .

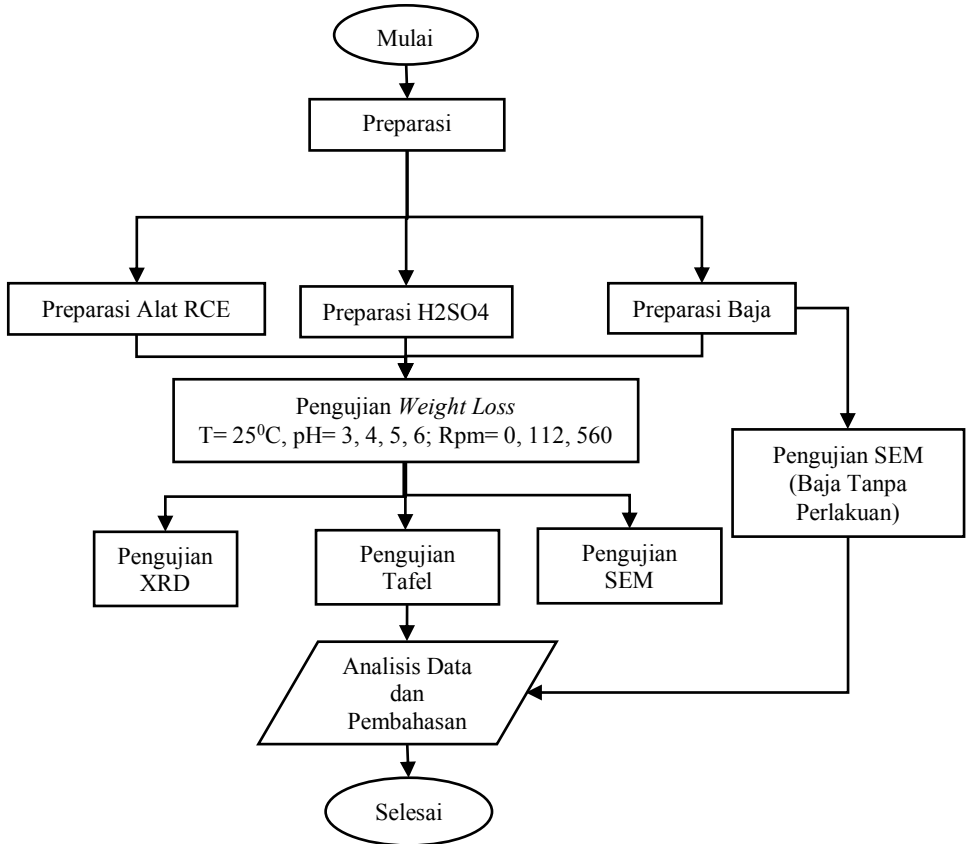
Heitz (1968) melakukan percobaan menggunakan RDE berdiameter 5 mm dalam larutan asam sulfat dengan berbagai macam variasi konsentrasi menyatakan bahwa dengan konsentrasi asam sulfat yang rendah mengakibatkan pengaruh kecepatan putaran menjadi ringan tetapi pada konsentrasi asam sulfat yang tinggi, pengaruh kecepatan juga semakin tinggi. Pengaruh ini seiring dengan tinggi rendahnya laju reaksi antarmuka.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir



III.2 Prosedur Penelitian

III.2.1 Alat

1. Timbangan Digital
2. Gelas Ukur
3. Alat Pemotong Sampel
4. Mesin Bubut
5. Pipet
6. Kertas Amplas
7. Indikator pH
8. Solder
9. Penggaris
10. Dinamo
11. Tachometer
12. Plastik
13. Wadah plastik
14. Kabel
15. Couple
16. Peralatan Pengujian SEM
17. Peralatan Pengujian Polarisasi
18. Peralatan Pengujian Emission Spectrometer

III.2.2 Bahan

1. Material (Baja Karbon Rendah)

Material yang digunakan sebagai elektroda adalah baja st 42 dengan diameter 10 mm dan tinggi 10 mm. Adapun komposisi kimia baja st 42 adalah sebagai berikut

Tabel 3.1 Komposisi kimia baja st 42

%Fe	%C	%Mn	%Si	%P	%S
Balance	0,06 - 0,09	0,3- 0,6	0,1 - 0,25	0,03	0,035

2. Elektrolit

Larutan elektrolit menggunakan 98% H₂SO₄ (Sulfuric Acid) yang diencerkan dengan Aquades hingga mencapai



pH 3, 4, 5, dan 6 dengan masing-masing molaritas larutan adalah 5×10^{-4} M, 5×10^{-5} M, 5×10^{-6} M, dan 5×10^{-7} M H_2SO_4 . Diketahui bahwa asam sulfat dengan kadar 98% memiliki molaritas sebesar 18,4 M.

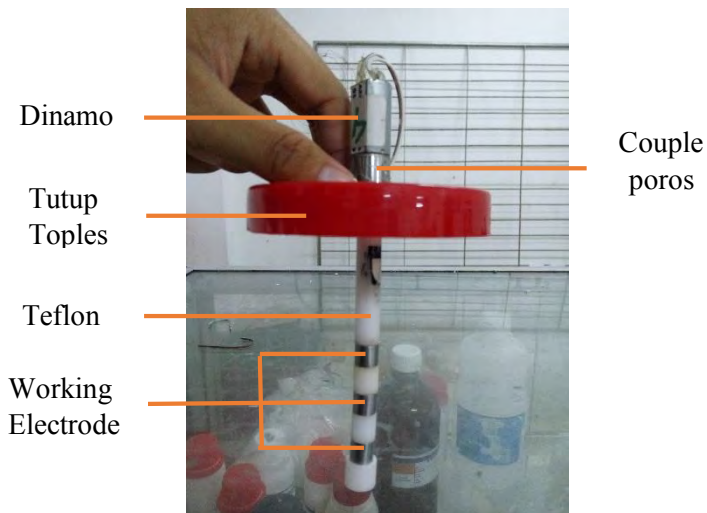
- Proses Pembuatan Elektrolit
Pertama, membuat terlebih dahulu larutan asam sulfat dengan konsentrasi 0,5 M dengan cara mengencerkan 13,6 ml 98% asam sulfat dengan aquades hingga 500 ml. Dengan demikian pH tercatat adalah 1. Perhitungan terlampir
 1. pH 3
Untuk membuat larutan asam sulfat dengan pH 3 maka dilakukan memasukkan 1298 ml 0,5 M asam sulfat ke dalam ember kemudian diencerkan dengan aquades hingga 2000 ml dan diukur dengan pH meter.
 2. pH 4
Untuk membuat larutan asam sulfat dengan pH 4 maka dilakukan memasukkan 947 ml 0,5 M asam sulfat ke dalam ember kemudian diencerkan dengan aquades hingga 2000 ml dan diukur dengan pH meter.
 3. pH 5
Untuk membuat larutan asam sulfat dengan pH 5 maka dilakukan memasukkan 597 ml 0,5 M asam sulfat ke dalam ember kemudian diencerkan dengan aquades hingga 2000 ml dan diukur dengan pH meter.
 4. pH 6
Untuk membuat larutan asam sulfat dengan pH 3 maka dilakukan memasukkan 246 ml 0,5 M asam sulfat ke dalam ember kemudian diencerkan dengan aquades hingga 2000 ml dan diukur dengan pH meter.



Gambar 3.2 Pengukuran pH larutan

III.2.3 Preparasi Alat

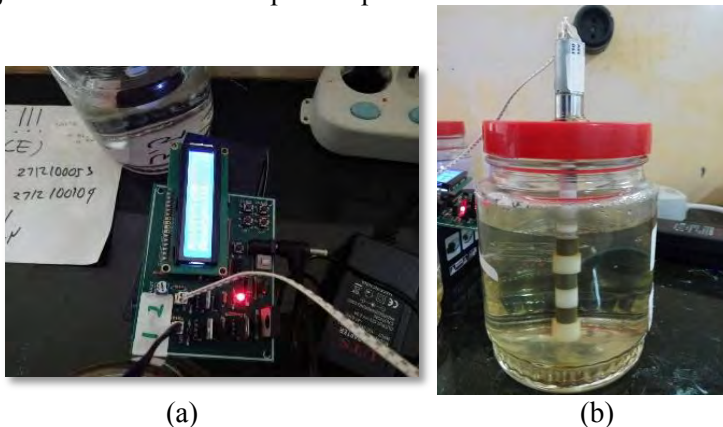
Rotating Cylinder Electrode (RCE) secara umum dibagi menjadi 3 bagian, yaitu bagian atas silinder, silinder, dan bagian bawah silinder. Bagian atas silinder 10 cm, 3,5 cm di bagian bawah silinder, dan panjang silinder 1 cm. Berikut merupakan alat RCE yang digunakan pada saat penelitian



Gambar 3.3 Alat RCE



Poros adalah material yang langsung bersentuhan dengan dinamo. Selanjutnya poros dilapisi dengan teflon. Poros kemudian diberi ulir dibagian ujung sehingga bisa disambung dengan sampel (electrode). Di kedua ujung sampel diberi teflon untuk menghindari kontak dengan logam pada poros dan tip. Untuk menjaga konstan kecepatan putaran diatur dengan mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan merupakan hasil kerjasama dengan pihak Elmech. Dengan demikian bisa diatur kecepatan yang diperlukan yaitu, 112 rpm dan 560 rpm. Sebelum melakukan percobaan dinamo diberi nomor dan dihubungkan dengan mikrokontroler yang sudah diatur sebelumnya. Selanjutnya, mikrokontroler dihubungkan dengan adapter dan adapter ke arus AC. Sehingga, pengujian *weight loss* dengan metode RCE dapat dijalankan selama waktu pencelupan 10 hari.



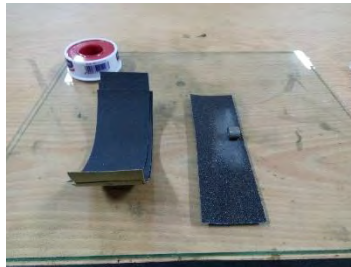
Gambar 3.4 Gambar alat pengujian RCE (a) kontroler (b) perangkat RCE saat pengujian

III.2.4 Preparasi Uji *Weight Loss*

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah baja st 42 yang memiliki dimensi, diameter 1 cm dan tinggi 1 cm. Baja dibubut di bagian tengah agar dapat disambung dengan teflon yang di atas dan dibawah silinder baja.



- **Persiapan Sampel**
Sampel dalam satu kecepatan putaran dan pH terdiri dari 3 sampel. Setiap sampel diurut dan ditandai sehingga memiliki data akurat mengenai dimensi dan massa sebelum dan sesudah pengujian.
- **Pengamplasan Sampel**
Sampel yang sudah dipotong sesuai dengan dimensi dan dilakukan pembubutan, maka proses selanjutnya adalah proses pengamplasan, proses ini bertujuan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan sampel. Pengamplasan dilakukan dari grade 180 hingga grade 1000.



Gambar 3.5 Proses pengamplasan sampel



Gambar 3.6 Kondisi spesimen setelah pengamplasan atau sebelum pencelupan

- **Pengukuran Berat Awal Sampel**
Kemudian setiap sampel ditimbang berat awalnya menggunakan timbangan digital sebagai acuan terhadap



pengurangan berat yang terjadi. sehingga dalam satu kecepatan putar dan satu pH terdapat data massa sampel 3 buah untuk masing-masing sampel.



Gambar 3.7 Pengukuran berat sample

- Pengukuran Dimensi sampel
Selanjutnya adalah mengukur dimensi sampel meliputi diameter dan tinggi sampel yang terpapar dengan larutan asam sulfat.



Gambar 3.8 Pengukuran dimensi sampel



III.2.5 Preparasi Pengujian Polarisasi

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah yang memiliki dimensi, diameter 1 cm dan tinggi 1 cm. Baja dibubut di bagian tengah agar dapat disambung dengan plastik yang di atas dan dibawah silinder baja.

- Pengamplasan Sampel

Sampel yang sudah dipotong sesuai dengan dimensi dan dilakukan pembubutan, maka proses selanjutnya adalah proses pengamplasan, proses ini bertujuan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan sampel. Pengamplasan dilakukan dari grade 80 hingga grade 1000.

- Pengukuran Dimensi Sampel

Selanjutnya adalah mengukur dimensi sampel meliputi diameter dalam, diameter luar, dan tinggi sampel serta menentukan luas daerah yang tercelup dengan larutan asam sulfat. Sehingga luasan yang terpapar dengan larutan asam sulfat adalah setengah luas selimut luar silinder dikurangi dengan setengah luas selimut dalam silinder ditambah dengan luas alas silinder luar dikurangi luas dalam silinder dalam dengan persamaan

$$A = \left(\frac{2\pi RT - 2\pi rT}{2} \right) + (\pi R^2 - \pi r^2) \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan:

- A : Luas permukaan terpapar (cm²)
- R : Jari-jari luar silinder (cm)
- r : Jari-jari dalam silinder (cm)
- T : tinggi silinder (cm)

III.2.6 Preparasi Uji SEM (Scanning Electron Microscope)

Pengujian SEM dilakukan setelah pengujian *weight loss* selama 10 hari. Terdapat 3 sampel yang dilakukan uji morfologi permukaan ini, yaitu (pH 3; 560 rpm), (pH 3; 0 rpm), dan (pH 6; 560 rpm). Dengan demikian didapatkan pengaruh kecepatan aliran dan pH terhadap morfologi permukaan baja st 42.



Pada pengujian SEM ini dimensi spesimen yang dipakai mengikuti dimensi spesimen yang digunakan pada RCE yaitu dengan diameter 10 mm dan tebal 10 mm. Penampang yang ditembak merupakan permukaan baja yang terpapar dengan larutan asam sulfat.

III.2.7 Preparasi Uji XRD

Pada pengujian XRD ini preparasi yang dilakukan adalah mengambil produk korosi yang terbentuk pada permukaan baja setelah pencelupan selama 10 hari. Produk korosi yang diuji XRD yaitu sampel yang memiliki laju korosi paling tinggi yaitu pada pH 3 dan kecepatan putaran 560 rpm. Produk korosi yang diambil langsung diambil dan diuji XRD untuk menghindari kontak yang lama dengan udara.

III.3. Pengujian-pengujian

III.3.1. Pengujian weight loss

Pengujian *weight loss* dilakukan untuk menghitung laju korosi dari data berat awal spesimen dengan menggunakan timbangan digital dan berat akhir spesimen setelah mengalami perlakuan selama waktu tertentu, dari data tersebut didapatkan perbedaan berat awal dan berat akhir yang kemudian dikonversi menjadi laju korosi (mm/y) dari material tersebut. Pengujian *weight loss* dilakukan di laboratorium korosi dan kegagalan material, jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. 10 hari pertama dilakukan pengujian untuk pH 4 dan 5, 10 hari selanjutnya dilakukan pengujian untuk pH 3 dan 6.

Adapun langkah-langkah pengujian *weight loss* yang dilakukan yaitu:

- a. Menyiapkan baja st 42 yang sudah diamplas hingga grade 1000.
- b. Menyusun RCE seperti gambar 3.2
- c. Menyiapkan larutan asam sulfat dengan pH 4 dan 5 sebanyak 2000 ml.



- d. Mengukur kecepatan putar dengan *tachometer* sehingga didapatkan 112 dan 560 rpm.
- e. Mengisi toples sebanyak 500 ml untuk masing-masing kecepatan.
- f. Memasang tutup toples kemudian dihubungkan dengan kontroler yang sudah dialiri listrik.
- g. Menyalakan alat RCE dan menjaga alat RCE berfungsi normal hingga 10 hari.
- h. Mengangkat setiap sampel dan membersihkan produk korosi yang terbentuk dengan sikat.
- i. Menimbang sampel sesuai dengan label yang sudah ditentukan.
- j. Mencatat perubahan berat dan melakukan perhitungan laju korosi yang dihasilkan.
- k. Mengulang langkah a-j untuk pH 3 dan 6.



Gambar 3.9 Pengujian *weight loss* dengan RCE

**Tabel 3.1** Tabel rancangan pengujian *weight loss*

pH	Kecepatan Putar (RPM)	Waktu (hari)	Spesimen	W _o (gram)	W _t (gram)	Selisih berat (gram)
3	0	10				
	34 (1,8 cm/s)					
	560 (29,3 cm/s)					
4	0	10				
	34 (1,8 cm/s)					
	560 (29,3 cm/s)					
5	0	10				
	34 (1,8 cm/s)					
	560 (29,3 cm/s)					
6	0	10				
	34 (1,8 cm/s)					
	560 (29,3 cm/s)					

III.3.2. Pengujian Polarisasi

Alat uji yang digunakan untuk pengujian polarisasi adalah jenis Autolab PGSTAT302N. Pengujian dilakukan untuk mengetahui secara langsung laju korosi dari suatu logam. Hasil pengukuran polarisasi berupa kurva polarisasi yang menyatakan hubungan potensial dan arus setiap saat. Selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi dengan teknik tafel untuk memperoleh besaran-besaran yang berkaitan dengan korosi pada baja karbon, parameter yang didapat dari hasil pengujian ini adalah potensial korosi (E_{corr}), rapat arus (I_{corr}) dan laju korosi. Parameter yang digunakan pada pengujian polarisasi ditunjukkan oleh Tabel 3.2

Tabel 3.2 Parameter pengujian polarisasi

Elektroda Kerja	Baja St 42
<i>Equivalent Weight (g/mol)</i>	27,92
<i>Densitas (g/cm³)</i>	7,86
<i>Luasan terekspos</i>	1,8
<i>Counter electrode</i>	Pt (Platina)
<i>Reference electrode</i>	Ag/AgCl
<i>Scan rate</i>	0,001
<i>Start Potential</i>	-0,05 vs OCP
<i>Finish Potential</i>	0,05 vs OCP



Komponen penting Potentiostat yaitu:

a. Elektroda Kerja (Work Electrode)

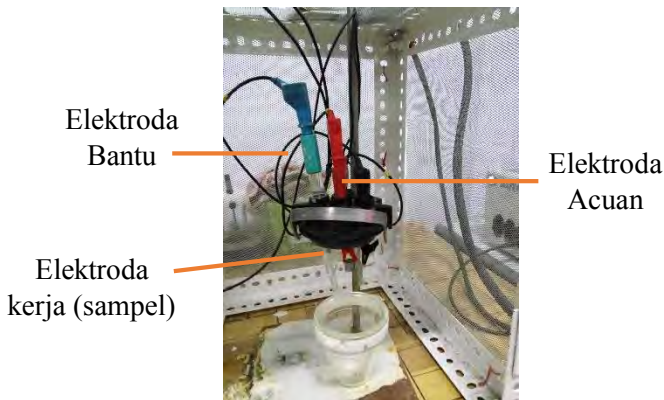
Elektroda kerja pada penelitian ini adalah baja karbon rendah berbentuk silinder dengan luas permukaan rata rata yang terekspose sebesar $\pm 31,4 \text{ mm}^2$ dan dimoulding dengan resin epoxy. Elektroda dihubungkan dengan kabel tembaga dengan panjang $\pm 20 \text{ cm}$

b. Elektroda Acuan (Reference Electrode)

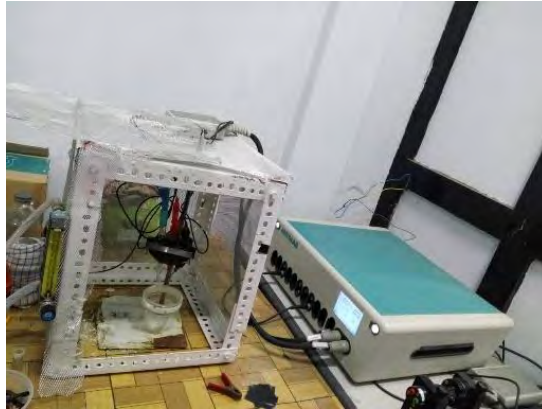
Elektroda acuan adalah elektroda yang menjadi acuan bagi pengukuran terhadap elektroda kerja. Pada percobaan kali ini digunakan reference electrode berupa kalomel (SCE).

c. Elektroda Bantu (Counter Electrode)

Elektroda bantu adalah elektroda yang khusus untuk mengalirkan arus dalam rangkaian yang terbentuk. Material yang dipakai pada percobaan kali ini adalah karbon berbentuk silinder dengan diameter sekitar 5 mm dan panjang 20 cm.



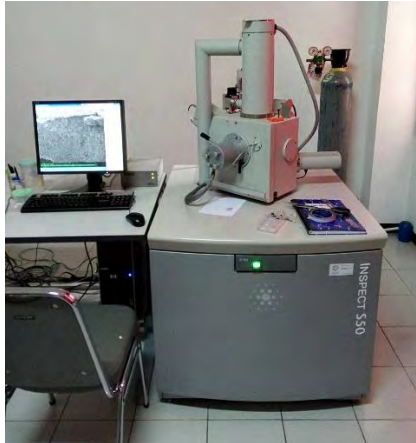
Gambar 3.10 Rangkain pengujian polarisasi



Gambar 3.11 Alat pengujian polarisasi (PGSTAT302N)

III.3.3. Pengujian SEM

Pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi dari suatu material. Alat uji SEM yang digunakan adalah jenis INSPECT S50. SEM merupakan jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai dengan sinar elektron yang difokuskan. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, untuk memproduksi berbagai sinyal yang dapat dideteksi dan yang mengandung informasi tentang morfologi permukaan, dengan melakukan pengujian ini, perbedaan morfologi dari material yang belum mengalami perlakuan simulasi RCE dengan material yang sudah mengalami perlakuan RCE dapat diketahui. Skema alat SEM dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Alat uji SEM (INSPECT S50)

III.3.4 Pengujian XRD

Pengujian XRD (X-Ray Diffraction) dilakukan untuk mengetahui jenis produk korosi yang dihasilkan oleh baja st 42 setelah mengalami pencelupan dalam larutan asam sulfat selama 10 hari dengan variasi pH dan kecepatan putar. Alat uji XRD yang digunakan adalah jenis X'Pert PRO Pan Analytical, seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Alat uji XRD (X'Pert PRO Pan Analytical)



III.4 Rancangan Pengambilan Data dan Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengolah dan menganalisa data yang didapat, maka dibuat rancangan pengambilan data dan jadwal pelaksanaan penelitian sebagai berikut

Tabel 3.3 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	September 2015				Oktober 2015				November 2015				Desember 2015				Januari 2016			
1	Studi Literatur																				
2	Pembuatan Proposal Tugas Akhir																				
3	Asistensi ke Dosen Pembimbing																				
4	Pengujian <i>Weight Loss</i>																				
5	Pengujian SEM																				
6	Pengujian XRD																				
7	Pengujian Polarisasi																				
8	Analisis Data dan Pembahasan																				
9	Pembuatan Laporan Tugas Akhir																				



Tabel 3.4 Rancangan Penelitian

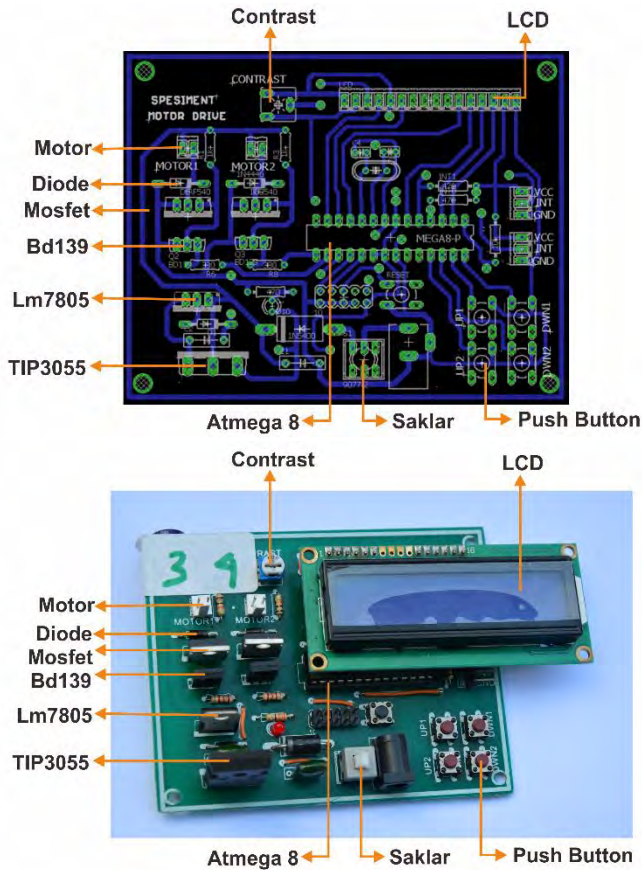
No.		Pengujian	Sampel
1.		SEM	1. Tanpa Perlakuan
			2. pH 3; 0 rpm
			3. pH 3; 560 rpm
			4. pH 6; 0 rpm
			5. pH 6; 560 rpm
2.		XRD	1. Tanpa Perlakuan
			2. pH 3; 0 rpm
			3. pH 3; 560 rpm
3.		Polarisasi	1. pH 3; 112 rpm
			2. pH 3; 560 rpm
			3. pH 6; 112 rpm
			4. pH 6; 560 rpm

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian

IV.1.1 Perancangan Alat

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang akurat maka dibutuhkan desain dan perancangan alat RCE pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Rangkaian mikrokontroler RCE

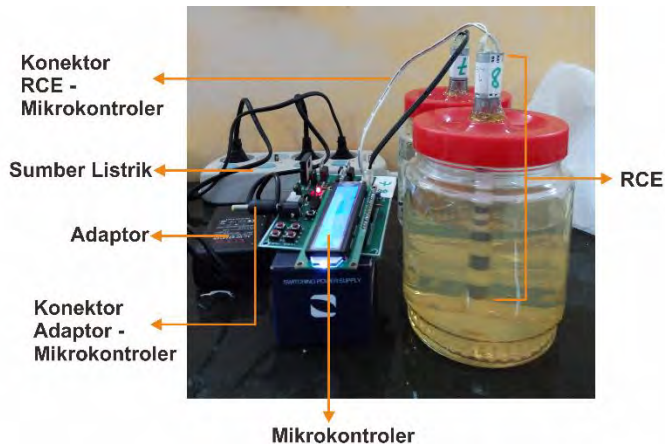


Gambar 4.1 merupakan desain mikrokontroler yang berfungsi untuk menentukan kecepatan putaran elektroda (sampel) serta menjaga kecepatannya konstan. Alat ini juga dilengkapi dengan memori yang berfungsi merekam kecepatan putaran yang digunakan sebelumnya. Nilai yang tercatat pada LCD bukan merupakan nilai kecepatan putaran yang diberikan ada elektroda, melainkan kecepatan putaran pada motor (dinamo). Sehingga, untuk mendapatkan kecepatan putaran pada elektroda, digunakan alat *tachometer* untuk mengetahui kecepatan putaran pada elektroda. Dalam penggunaannya, satu mikrokontroler menggerakkan dua motor sekaligus, sehingga semua komponen terlihat berpasangan. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk menghemat biaya kebutuhan komponen tanpa mengurangi keutuhan fungsi masing-masing komponen.

Adapun fungsi-fungsi komponen tersebut adalah sebagai berikut.

- Mosfet : sebagai saklar otomatis penggerak motor DC
- BD139 : memberikan pulsa PWM pada mosfet
- LM7805 : regulator penurun tegangan 12Vdc ke 5VDC
- TIP3055 : penguat arus ke rangkaian
- Saklar : menghubungkan dan memutus arus listrik
- *Push Button* : digunakan untuk mengatur kecepatan motor
- Atmega8 : mikrokontroler/ sebagai pusat kendali sistem
- LCD : untuk menampilkan nilai PWM
- *Contrast* : untuk mengatur kecerahan LCD

Motor atau dinamo yang digunakan pada alat RCE ini adalah jenis Dinamo Flying DC 700 rpm, artinya motor ini menggunakan arus listrik DC dengan kecepatan maksimum yang bisa dicapai adalah 700 rpm.



Gambar 4.2 Rangkaian RCE keseluruhan

Gambar 4.2 merupakan Rangkaian RCE secara keseluruhan dimana

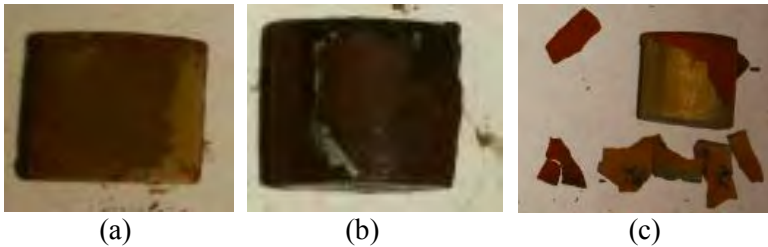
- Sumber Listrik : energi untuk menggerakkan RCE
- Adaptor : berfungsi untuk merubah arus AC menjadi DC

IV.1.2 Hasil Penelitian

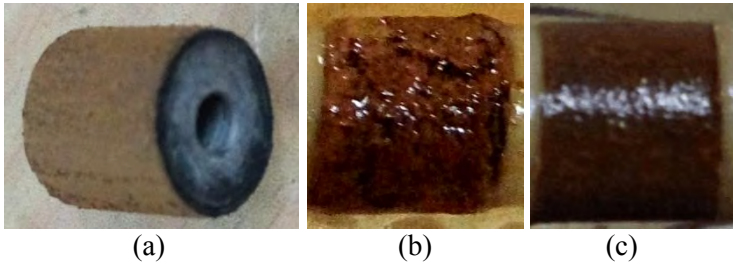
Dari penelitian karakteristik korosi baja St 42 pada media asam sulfat menggunakan sistem *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) didapatkan hasil sebagai berikut.

IV.1.2.1 Pengamatan Visual

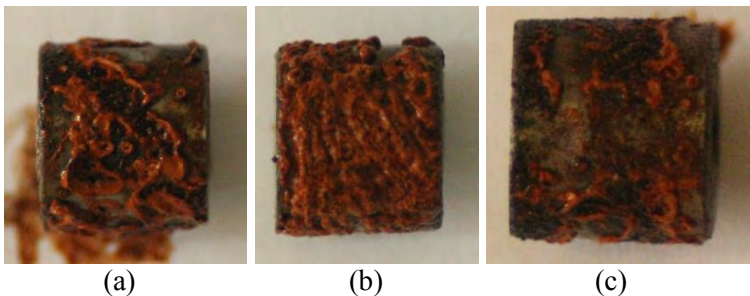
Dari pengujian *weight loss* baja St 42 dalam larutan asam sulfat selama 10 hari dengan metode RCE didapatkan foto makro seperti berikut.



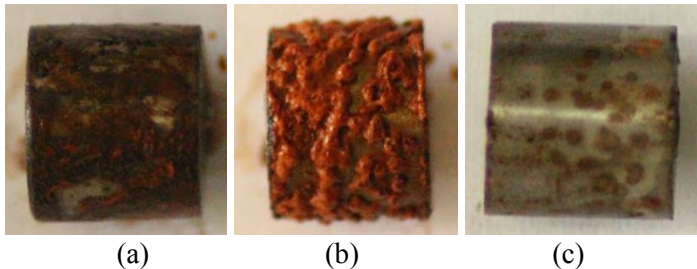
Gambar 4.3 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm



Gambar 4.4 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 4 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm



Gambar 4.5 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 5 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm



Gambar 4.6 Hasil pengamatan visual produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6 (a) 0 (b) 112 rpm (c) 560 rpm

Gambar-gambar diatas menunjukkan produk korosi yang terbentuk berdasarkan pengaruh pH dan kecepatan yang diberikan pada baja. Dari hasil pengamatan visual diketahui bahwa dengan bertambahnya pH produk korosi yang terbentuk semakin berkurang dan cenderung tidak menutupi semua permukaan logam. Kenaikan kecepatan putara mengakibatkan produk korosi semakin banyak pada pH 3 dan 4, serta memiliki sifat yang rapuh. Namun, hal ini tidak terjadi pada pH 5 dan 6 dimana produk korosi yang terbentuk pada kecepatan putaran 560 rpm sedikit.

IV.1.2.2 Pengujian Pengurangan Berat (*Weight Loss*)

Berikut merupakan tabel hasil pengujian *weight loss* baja St 42 terhadap pH dan kecepatan putaran dengan waktu pencelupan dan pemutaran selama 10 hari dalam larutan asam sulfat.



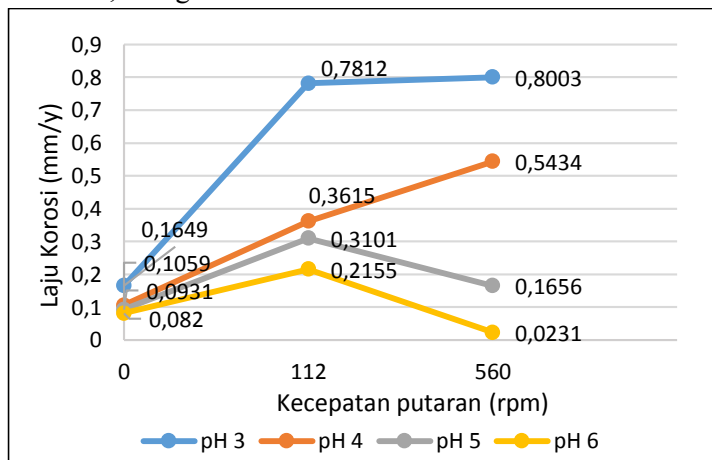
Tabel 4.1 Pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap laju korosi baja St 42 dalam larutan asam sulfat.

pH	Kecepatan Putar (rpm)	Spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa awal - massa akhir (gr)	Laju korosi (mm/y)	Rata-rata laju Korosi (mm/y)
3	0	1	5,251	5,2421	0,0089	0,1382	0,1649
		2	4,9187	4,907	0,0117	0,1916	
		3	5,0651	5,0548	0,0103	0,1651	
	112	1	5,2599	5,2104	0,0495	0,7684	0,7812
		2	5,0802	5,0312	0,049	0,7768	
		3	5,0394	4,9885	0,0509	0,7984	
	560	1	4,9123	4,8686	0,0437	0,7156	0,8003
		2	4,9244	4,8779	0,0465	0,7615	
		3	4,6983	4,6425	0,0558	0,9239	
4	0	1	4,6825	4,6768	0,0057	0,0965	0,1059
		2	4,8045	4,7972	0,0073	0,1215	
		3	4,7433	4,7374	0,0059	0,0999	
	112	1	4,731	4,7078	0,0232	0,3863	0,3615
		2	4,9922	4,9685	0,0237	0,3718	
		3	5,0098	4,9892	0,0206	0,3266	
	560	1	4,8738	4,8462	0,0276	0,457	0,5434
		2	4,5737	4,5475	0,0262	0,454	
		3	4,8905	4,8461	0,0444	0,7192	
5	0	1	4,7527	4,746	0,0067	0,1109	0,0931
		2	4,9562	4,9511	0,0051	0,08	
		3	4,7704	4,765	0,0054	0,0884	
	112	1	4,8127	4,792	0,0207	0,3389	0,3101
		2	4,9046	4,8857	0,0189	0,2965	
		3	4,9487	4,9297	0,019	0,2949	



6	560	1	4,9128	4,902	0,0108	0,1694	0,1656
		2	5,0639	5,0528	0,0111	0,1688	
		3	4,8325	4,8228	0,0097	0,1588	
	0	1	4,5414	4,5349	0,0065	0,11	0,0820
		2	4,7435	4,7396	0,0039	0,0639	
		3	4,8627	4,8581	0,0046	0,0722	
	112	1	4,4102	4,3943	0,0159	0,2787	0,2155
		2	4,8136	4,8022	0,0114	0,193	
		3	4,7238	4,7136	0,0102	0,1747	
	560	1	5,009	5,0079	0,0011	0,0162	0,0231
		2	4,9054	4,9035	0,0019	0,0295	
		3	5,0138	5,0122	0,0016	0,0236	

Adapun grafik pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap laju korosi baja St 42 dengan metode *weight loss* ditunjukkan oleh gambar 4.7, sebagai berikut



Gambar 4.7 Pengaruh kecepatan putaran dan pH terhadap laju korosi baja St 42



Grafik pada gambar 4.7 menunjukkan adanya pengaruh kecepatan putaran, pH, dan gabungan keduanya terhadap laju korosi baja St 42 dalam larutan asam sulfat. Laju korosi menurun setiap kenaikan pH, didapatkan laju korosi baja pada kecepatan putaran 0 rpm dari pH 3 ke pH 6 secara berturut-turut yaitu 0,165 mm/y, 0,106 mm/y, 0,0931 mm/y, dan 0,082 mm/y.

Kecepatan putaran cenderung menaikkan laju korosi yang signifikan pada pH 3 dan 4. Pada pH 3 didapatkan laju korosi pada kecepatan putaran 0, 112, dan 560 rpm adalah 0,165 mm/y, 0,781 mm/y, dan 0,81 mm/y. Akan tetapi, kecepatan putaran sedikit berpengaruh pada kondisi larutan pH 5 dan 6. Pada pH 6 didapatkan laju korosi pada kecepatan putaran 0, 112, dan 560 rpm adalah 0,082 mm/y, 0,2155 mm/y, dan 0,0231 mm/y.

IV.1.2.3 Pengujian Polarisasi

Untuk mengetahui laju korosi pada kondisi awal baja St 42 berdasarkan pengaruh pH dan kecepatan putaran maka dilakukan pengujian polarisasi. Pengujian ini dilakukan dengan variasi pH yaitu 3 dan 6 dengan kecepatan putaran masing-masing 112 dan 560 rpm. Hal tersebut ditunjukkan oleh tabel 4.2

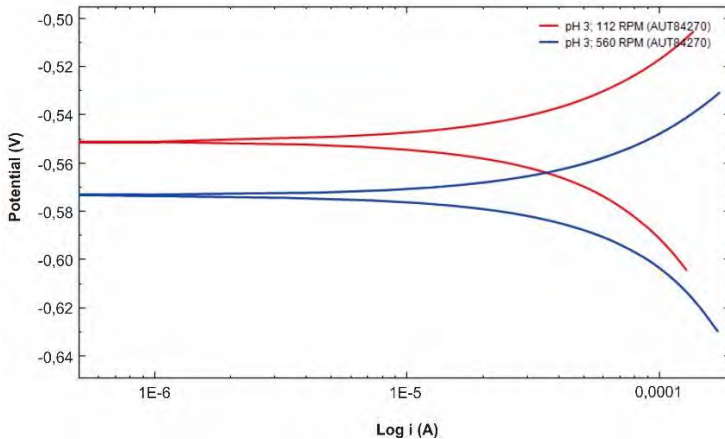
Tabel 4.2 Hasil pengujian polarisasi baja St 42 pada larutan asam sulfat dengan variasi pH dan kecepatan putar

pH	Kecepatan putaran (rpm)	-E _{corr} (mV)	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju korosi (mm/y)
3	112	550,660	131,430	1,527
	560	573,270	187,490	2,178
6	112	480,950	3,587	0,042
	560	461,690	11,286	0,131

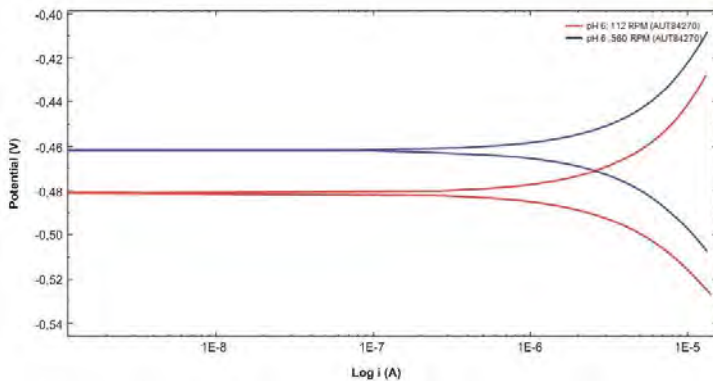
Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa pada pH yang sama dengan kenaikan kecepatan putaran mengakibatkan laju korosi



yang semakin meningkat baik pada pH 3 maupun pH 6. Sedangkan laju korosi menurun pada kecepatan putaran sama dengan kenaikan pH.



(a)

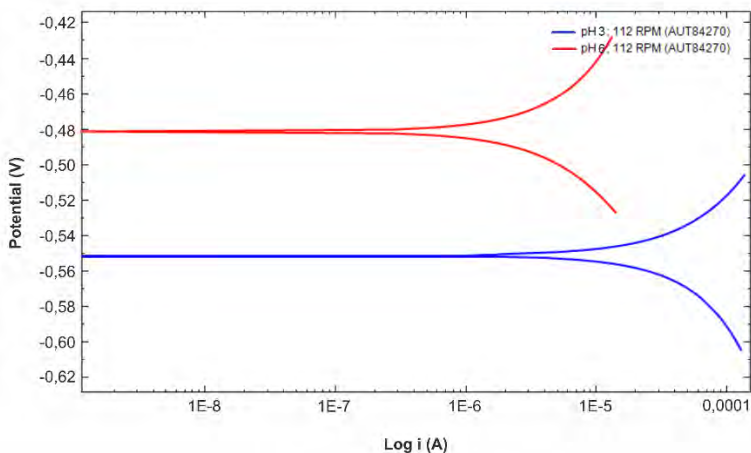


(b)

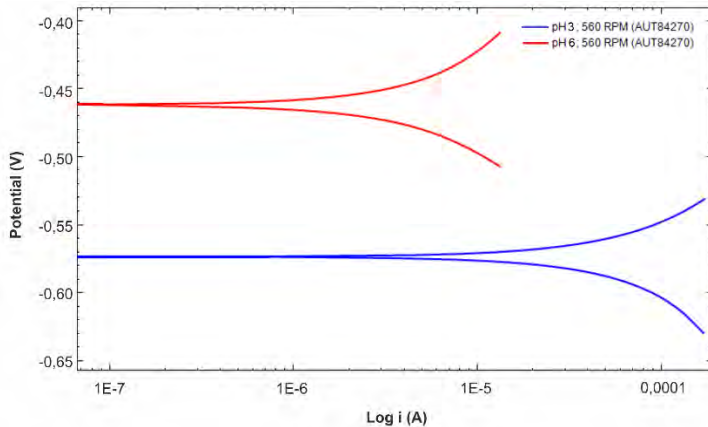
Gambar 4.8 Hasil pengujian polarisasi dengan waktu pencelupan 1 jam pada (a) pH 3 dan (b) pH 6 berdasarkan perbedaan kecepatan putaran



Gambar 4.8 (a) menunjukkan bahwa akibat naiknya kecepatan putaran membuat kurva bergeser ke bawah atau reaksi elektrokimia antara spesimen dengan larutan asam sulfat menjadi lebih katodik, artinya reaksi pada larutan lebih dominan dari pada reaksi pada spesimen. Hal yang berbeda terjadi pada gambar 4.8 (b) yang memberi informasi bahwa akibat naiknya kecepatan putaran pada pH yang mendekati netral membuat kurva bergeser ke atas atau reaksi elektrokimia yang terjadi antara spesimen dengan larutan asam sulfat menjadi lebih anodik. Artinya, reaksi pada spesimen menjadi lebih dominan dari pada reaksi pada larutan. Hal ini mengindikasikan adanya kombinasi pengaruh antara pH dan kecepatan putaran terhadap reaksi elektrokimia yang terjadi antara spesimen dengan larutan asam sulfat. Pengaruh perbedaan pH dengan kecepatan putaran yang sama ditunjukkan oleh gambar 4.9 seperti berikut.



(a)

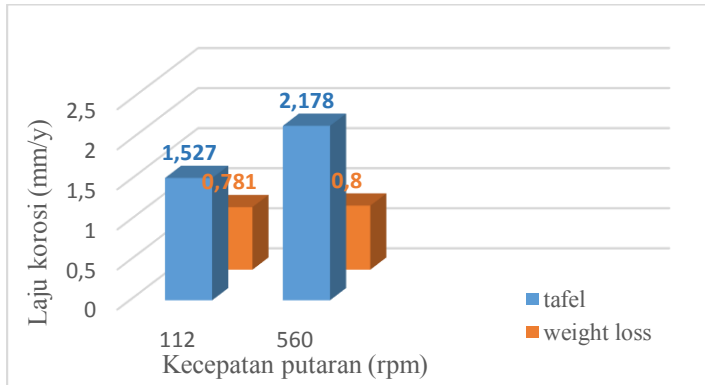


(b)

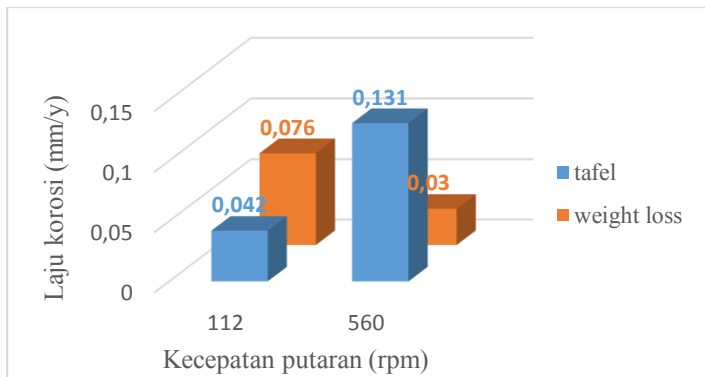
Gambar 4.9 hasil pengujian polarisasi dengan waktu pencelupan 1 jam pada (a) 112 rpm (b) 560 rpm berdasarkan perbedaan pH

Gambar 4.9 baik pada kecepatan 112 rpm maupun 560 rpm menunjukkan bahwa pH larutan asam sulfat yang semakin tinggi membuat kurva bergeser ke kiri atas atau reaksi elektrokimia yang terjadi antara spesimen dengan larutan asam sulfat menjadi lebih anodik. Bergesernya kurva ke arah kiri menunjukkan turunnya nilai i_{corr} sehingga laju korosi menurun.

Apabila dilakukan perbandingan laju korosi pada 1 jam pencelupan (metode tafel) dengan 10 hari pencelupan (weight loss) pada pH 3 dan 6 karena pengaruh kecepatan putaran, laju korosi meningkat seiring dengan pertambahan kecepatan putaran pada 1 jam pencelupan. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 4.10 dan 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Perbandingan hasil laju korosi baja St 42 pada pH 3 dengan waktu pencelupan 1 jam dan 10 hari



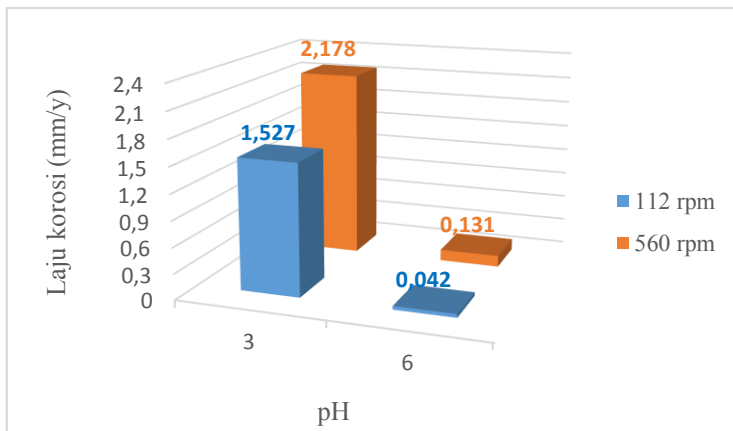
Gambar 4.11 Perbandingan hasil laju korosi baja St 42 pada pH 6 dengan waktu pencelupan 1 jam dan 10 hari

Gambar grafik 4.10 dan 4.11 menunjukkan kecenderungan laju korosi pada kondisi awal lebih tinggi dari pada hari ke-10. Hal ini dikarenakan pada kondisi awal belum terbentuk produk korosi yang menutupi permukaan baja sehingga, reaksi korosi dapat terjadi di seluruh permukaan baja, seperti ditunjukkan oleh pengamatan visual produk korosi yang terbentuk setelah



pencelupan dan pemutaran selama 10 hari. Namun, hal ini tidak sepenuhnya terjadi untuk masing-masing kondisi, karena pada pH 6 dengan kecepatan 560 rpm menunjukkan produk korosi yang sangat sedikit terbentuk di permukaan baja.

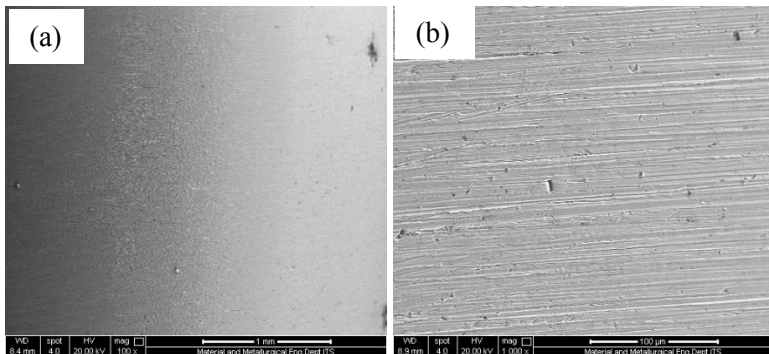
Baik pengujian *weight loss* maupun pengujian polarisasi menunjukkan laju korosi yang semakin menurun seiring dengan kenaikan pH larutan asam sulfat, seperti ditunjukkan oleh gambar 4.12 sebagai berikut.



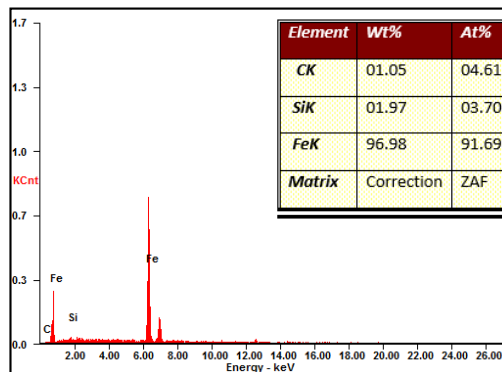
Gambar 4.12 Hasil pengujian polarisasi berdasarkan pengaruh pH

IV.1.2.5 Pengujian Morfologi (SEM)

Berikut merupakan hasil pengujian SEM dan EDX baja St 42 tanpa perlakuan



Gambar 4.13 Hasil pengujian SEM baja St 42 tanpa perlakuan dengan perbesaran (a) 100x (b) 1000x



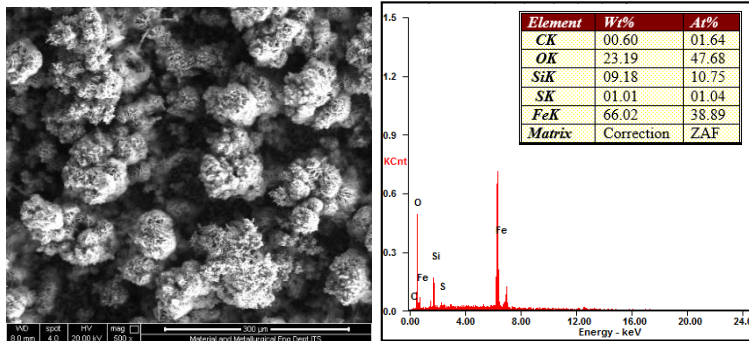
Gambar 4.14 Hasil pengujian EDX baja St 42 tanpa perlakuan

Dari pengujian SEM baja St 42 menunjukkan bahwa goresan-goresan yang dihasilkan merupakan dampak dari proses pengamplasan (grinding). Sedangkan dari pengujian EDX yang dilakukan maka didapatkan presentase elemen terbesar pada baja St 42 yaitu Fe dengan unsur paduan berupa karbon (C) dan silikon (Si).

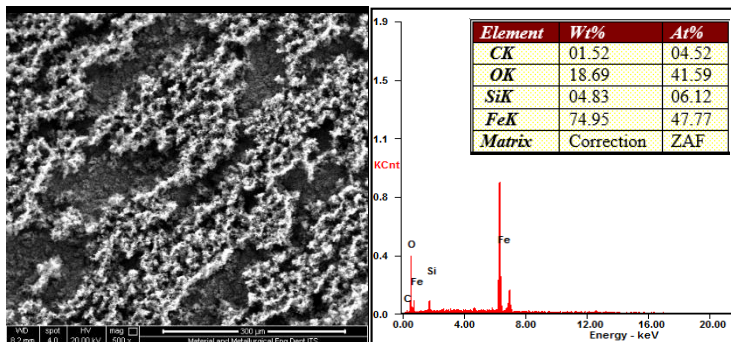
Logam yang berkontak dengan fluida yang memiliki kecepatan memiliki karakteristik morfologi permukaan yang



berbeda. Hal ini dikarenakan adanya gaya geser yang dibawa oleh larutan terhadap permukaan baja, sehingga memungkinkan logam tersebut kehilangan sebagian massanya (Schmitt, 2010).



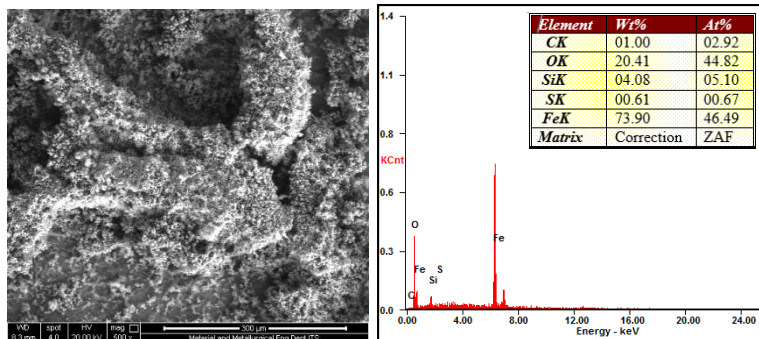
Gambar 4.15 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; tanpa kecepatan putaran
Gambar 4.15 menunjukkan morfologi permukaan baja yang tertutupi oleh produk korosi yang utuh dan kompak karena tidak adanya gaya geser antara fluida dengan spesimen.



Gambar 4.16 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; 560 rpm

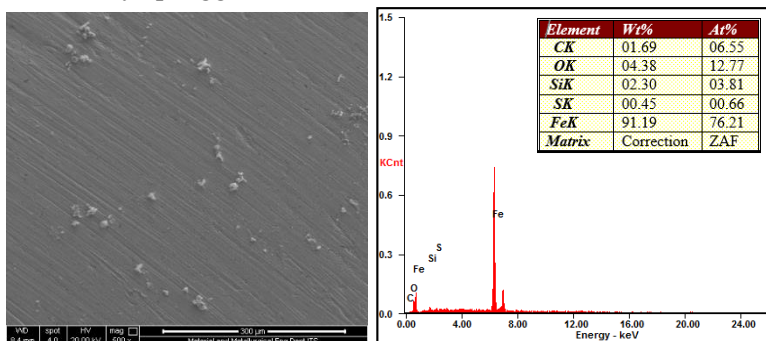


Gambar 4.16 menunjukkan morfologi permukaan baja yang memiliki produk korosi yang kasar dan tidak utuh karena gaya geser fluida terhadap permukaan baja yang menggerus sebagian produk korosi yang terbentuk di permukaan baja.



Gambar 4.17 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6; tanpa kecepatan putaran

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa permukaan baja tidak seluruhnya ditutupi oleh produk korosi. Produk korosi yang terbentuk terlihat utuh dan memiliki butir yang halus, menandakan tidak adanya penggerusan oleh larutan.



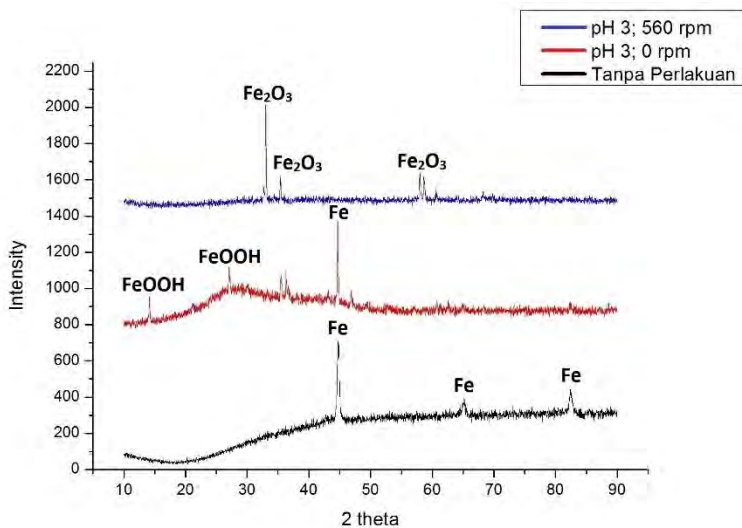
Gambar 4.18 Hasil pengujian SEM perbesaran 500x dan EDX baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6; 560 rpm



Gambar 4.18 menunjukkan bahwa produk korosi yang menempel pada permukaan baja sangat sedikit akibat dari kecepatan putaran yang tinggi dan kemampuan larutan yang rendah dalam membentuk produk korosi.

IV.1.2.5 Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Pengujian XRD dilakukan pada sampel yang berada pada lingkungan paling ekstrem, yaitu pada pH 3 dengan kecepatan putaran 560 rpm. Pada pengujian XRD didapatkan gambar 4.13 seperti berikut



Gambar 4.19 Hasil pengujian XRD baja ST 42 tanpa perlakuan, produk korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; 0 rpm dan pH 3; 560 rpm.

Dari gambar 4.19 memberikan informasi bahwa produk korosi yang terbentuk antara lain pada pH 3, tanpa kecepatan



putaran adalah FeOOH sesuai dengan 01-070-8045. FeOOH terbentuk karena larutan jumlah air (H_2O) dalam larutan asam sulfat masih lebih banyak dari pada asam sulfat yang dimasukkan. Sedangkan produk korosi yang terbentuk pada pH 3 dengan kecepatan putaran 560 rpm adalah Fe_2O_3 sesuai dengan 00-003-0800. Produk korosi Fe_2O_3 terbentuk diduga karena adanya reaksi dengan oksigen pada rentang waktu pengujian *weight loss* dengan SEM. Dengan demikian produk korosi sebelum terekspos dengan udara adalah $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Produk korosi yang terbentuk diperkuat oleh hasil pengujian EDX dimana presentase elemen yang paling banyak adalah Fe dan O. Sebagai data kontrol, dilakukan pengujian XRD pada baja tanpa perlakuan dengan Fe sebagai penyusunnya sesuai dengan ICDD 01-089-7194.

IV.2 Pembahasan

Penentuan laju korosi dilakukan dengan pengujian *weight loss* dan polarisasi. Laju korosi baja St 42 mengalami penurunan seiring dengan kenaikan pH asam sulfat. Hal ini juga dibuktikan oleh pengujian *weight loss* maupun pengujian polarisasi yang dilakukan seperti pada gambar 4.7 dan 4.12. Penelitian yang sama dilakukan juga oleh Gusti, 2011 bahwa kenaikan pH atau berkurangnya konsentrasi asam sulfat menurunkan laju korosi baja.

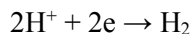
Pengaruh kecepatan putaran ditunjukkan oleh gambar 4.7. Laju korosi pada baja St 42 meningkat dengan naiknya kecepatan putaran. Hal ini ditunjukkan laju korosi yang lebih tinggi pada kecepatan putaran 112 rpm dari pada 0 rpm. Sedangkan pada kecepatan putaran 560 rpm, peningkatan laju korosi terjadi pada pH 3 dan 4. Hal ini berbeda dengan laju korosi yang cenderung lebih rendah dari pada kecepatan putaran 112 rpm pada pH 5 dan



6. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengamatan visual pada gambar 4.3 sampai dengan 4.6. Tingi rendahnya laju korosi juga diperkuat dengan kondisi larutan asam sulfat setelah pengujian *weight loss* selama 10 hari. Heitz (1968) juga menyatakan bahwa pada konsentrasi larutan asam sulfat yang rendah dengan kecepatan putaran yang tinggi mengakibatkan pengaruh kecepatan putaran terhadap laju korosi menurun. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian polarisasi pada gambar 4.8 dan 4.9 bahwa pada pH 6, reaksi elektrokimia yang terjadi antara baja dengan larutan adalah reaksi anodik atau pembentukan ion Fe menjadi lebih banyak sesuai dengan reaksi (2.2)



Pada pH 3 dan 4, laju korosi meningkat dengan naiknya kecepatan putaran karena dengan adanya kecepatan yang tinggi mampu mengangkat produk korosi yang terbentuk sehingga logam kembali berkontak dengan larutan asam sulfat. Produk korosi yang kembali terbentuk tidak mampu melindungi permukaan logam karena pada pH kurang dari 4 laju korosi cenderung dipengaruhi oleh pH larutan yang mampu melarutkan korosi yang terbentuk. Hal ini ditunjukkan oleh pengujian polarisasi pada gambar 4.10 bahwa reaksi elektrokimia yang terjadi antara baja dengan larutan adalah reaksi katodik sesuai dengan reaksi (2.3)



Konsentrasi H^+ yang tinggi mengakibatkan difusi ion menjadi lebih cepat sehingga reaksi korosi menjadi cepat juga (Hinds,1999). Adanya kecepatan putaran mengakibatkan produk korosi yang terbentuk dan menutupi permukaan baja tergerus dari permukaan baja. Sehingga proses korosi terjadi karena adanya kontak antara baja dengan larutan kembali.



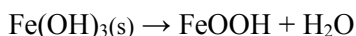
Pada pH 5 dan 6 laju korosi mengalami penurunan pada kecepatan putaran 560 rpm. Pengaruh polarisasi konsentrasi terjadi pada pH 5 dan 6 dengan kecepatan 560 rpm. Polarisasi konsentrasi cenderung terjadi pada konsentrasi ion reduksi (H^+) yang rendah. Akibat kecepatan putaran yang tinggi maka larutan asam sulfat yang berdekatan dengan permukaan baja kehilangan ion hidrogennya atau sedikit tersisa. Pada batas kecepatan tertentu maka didapatkan batas laju difusi ion hidrogen kedalam baja bergantung pada koefisien difusi dan ketebalan lapisan difusi (Fontana, 1987). Pengaruh konsentrasi asam yang lemah untuk melarutkan baja dan butuh waktu difusi ion hidrogen mengakibatkan laju korosi menjadi lambat meskipun dengan kecepatan aliran yang tinggi mampu menipiskan lapisan difusi dan memiliki tegangan geser permukaan yang tinggi (Schmitt, 2010).

Pengaruh pH dan kecepatan putaran terhadap morfologi permukaan baja St 42 ditunjukkan oleh gambar 4.15 hingga 4.18. Gambar 4.15 menunjukkan morfologi permukaan baja dengan pH 3 tanpa putaran memiliki produk korosi yang utuh dan menutupi permukaan baja karena tidak ada gaya geser antara baja dengan larutan asam sulfat karena. Gambar 4.16. Morfologi permukaan baja menunjukkan bentuk produk korosi yang tidak utuh dan kasar akibat gaya geser dengan fluida sehingga produk korosi lepas dari permukaan baja ke larutan. Akibat pH yang rendah mampu mengoksidasi baja dengan cepat ditambah dengan kecepatan putaran yang tinggi mengakibatkan sebagian produk korosi terlepas dari permukaan baja, sehingga proses korosi kembali terjadi karena adanya kontak baja dengan larutan. Pada gambar 4.17, yaitu hasil uji SEM pH 6 tanpa putaran produk korosi tidak menutupi semua permukaan baja dan memiliki butir yang halus dan utuh karena hampir tidak ada gaya geser dari fluida terhadap permukaan baja. Hal ini berbeda dengan morfologi permukaan baja



pada gambar 4.18, yaitu hasil uji SEM pH 6 dengan kecepatan putaran 560 rpm yang menunjukkan produk korosi yang terbentuk sangat sedikit atau memiliki laju korosi yang lambat karena konsentrasi asam sulfat yang rendah sehingga ion Fe yang teroksidasi cenderung sedikit untuk membentuk produk korosi dan karena pengaruh kecepatan putaran yang tinggi mengakibatkan difusi ion hidrogen ke permukaan logam menjadi lambat.

Produk korosi yang terbentuk pada permukaan baja ditunjukkan oleh gambar 4.19. produk korosi yang terbentuk pada pH 3 tanpa kecepatan putaran adalah FeOOH dengan kode referensi 01-070-8045. FeOOH terbentuk karena larutan jumlah air (H_2O) dalam larutan asam sulfat masih lebih banyak dari pada asam sulfat yang dimasukkan. Sehingga, Fe akan bereaksi dengan ion hidroksil pada air membentuk $Fe(OH)_3$ yang stabil, Seiring dengan bertambahnya waktu maka terjadi proses *aging* yang mengakibatkan dehidrasi meskipun terdapat air (Tamura, 2008). Hal ini sesuai dengan reaksi (2.8)



Sedangkan produk korosi yang terbentuk pada pH 3 dengan kecepatan putaran 560 rpm adalah Fe_2O_3 dengan kode referensi 00-003-0800. Produk korosi Fe_2O_3 terbentuk diduga karena adanya reaksi dengan oksigen pada rentang waktu pengujian *weight loss* dengan SEM. Produk korosi yang terbentuk diperkuat oleh hasil pengujian EDX dimana presentase elemen yang paling banyak adalah Fe dan O.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai studi pengaruh variasi pH dan kecepatan putaran terhadap karakteristik korosi baja St 42 pada larutan asam sulfat dapat ditarik beberapa kesimpulan seperti berikut.

1. Laju korosi baja St 42 menurun seiring dengan naiknya pH.
2. Laju korosi baja St 42 pada pH 3 dan 4 meningkat seiring dengan pertambahan kecepatan putaran, namun laju korosi mengalami penurunan pada pH 5 dan 6 dengan kecepatan putaran 560 rpm.
3. Penurunan laju korosi pada pH 5 dan 6 dengan kecepatan putaran 560 rpm dipengaruhi oleh kemampuan larutan asam sulfat yang lemah untuk mengoksidasi baja dan polarisasi konsentrasi yang menyebabkan lambatnya difusi hidrogen ke dalam permukaan baja.
4. Kecepatan putaran mengakibatkan perubahan morfologi permukaan baja St 42 menjadi kasar akibat gaya geser yang tinggi antara fluida dengan permukaan baja. Akan tetapi, hal ini tidak terbukti pada baja St 42 pada pH 6 dengan kecepatan putaran 560 rpm yang memiliki permukaan yang halus dan terdapat produk korosi yang sangat sedikit.

V.2 Saran

Saran untuk penelitian karakteristik korosi baja karbon rendah (mild steel) dalam larutan asam sulfat dengan variasi pH dan kecepatan putaran adalah sebagai berikut.

1. Menambah variasi kecepatan putaran terutama dengan kecepatan putaran diatas 560 rpm untuk mendapatkan karakteristik korosi baja karbon rendah pada lingkungan asam sulfat yang lebih akurat.

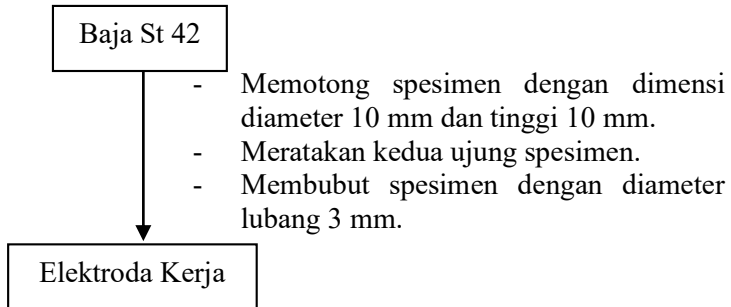


-
2. Melakukan pengujian laju korosi dengan waktu pencelupan lebih atau kurang dari 10 hari untuk melengkapi referensi tentang korosi pada baja karbon rendah menggunakan *Rotating Cylinder Electrode* (RCE).

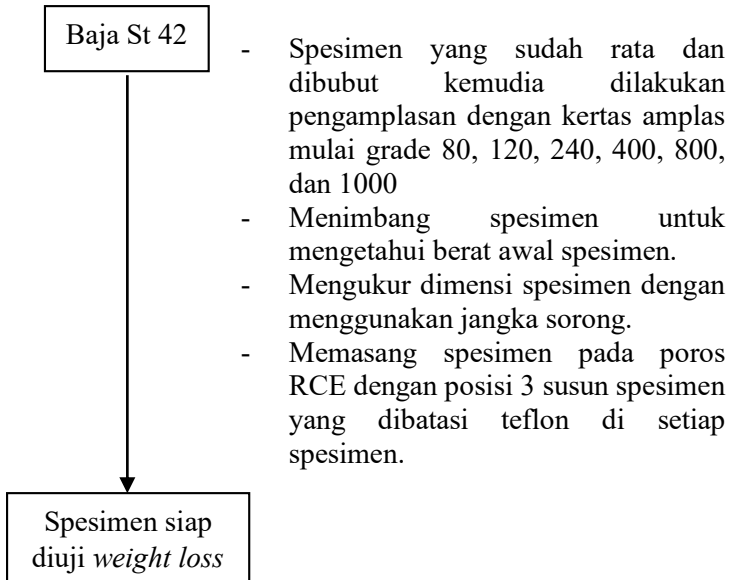
LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Kerja

1. Pembuatan Elektroda Kerja



2. Pembuatan Spesimen *Weight Loss*



3. Pembuatan Larutan Asam Sulfat

- **Perhitungan Molaritas 98% Asam Sulfat**

$$M = \frac{\%Kadar \times \rho \times 1000}{Mr}$$

$$M = \frac{98/100 \times 1,84 \times 1000}{98}$$

$$M = 18,4 \text{ Molar}$$

- **Membuat larutan H_2SO_4 0,5 M**

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$18,4M \cdot V_1 = 0,5M \cdot 500 \text{ ml}$$

$$V_1 = 13,6 \text{ ml (pH 1)}$$

- **Pengenceran 1**

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,5M \cdot V_1 = 0,0005M \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1 \text{ ml (pH 3,5)}$$

- **Pengenceran 2**

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,0005M \cdot V_1 = 0,00005M \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 100 \text{ ml (pH 4,4)}$$

- **Pengenceran 3**

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,0005M \cdot V_1 = 0,000005M \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 10 \text{ ml (pH 5,5)}$$

- **Pengenceran 4**

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,0005M \cdot V_1 = 0,0000005M \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1 \text{ ml (pH 6,7)}$$

Dari perhitungan tersebut maka didapatkan tabel sebagai berikut.

No	Molaritas (1 Liter) (Y)	pH (X)
1.	0,5	1
2.	$0,5 \times 10^{-3}$	3,5
3.	$0,5 \times 10^{-4}$	4,4
4.	$0,5 \times 10^{-5}$	5,5
5.	$0,5 \times 10^{-6}$	6,7

Untuk menentukan molaritas pada pH tertentu menggunakan metode interpolasi seperti berikut.

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}$$

$$\frac{Y - 0,5}{0,5 \times 10^{-6} - 0,5} = \frac{X - 1}{6,7 - 1}$$

$$5,7Y - 2,85 = -0,4999995X + 0,4999995$$

$$Y = -0,0877X + 0,5877$$

pada pH 3 maka didapatkan nilai

$$Y = -0,0877(3) + 0,5877 = 0,3246 \text{ M}$$

Sehingga, dengan pengenceran hingga 2 liter maka dibutuhkan asam sulfat 0,5 M sebanyak

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

$$0,5 \times V1 = 0,3246 \times 2000$$

$$V1 = 1298,4 \text{ ml}$$

Pada pH 4 maka didapatkan nilai

$$Y = -0,0877(4) + 0,5877 = 0,2369 \text{ M}$$

Sehingga, dengan pengenceran hingga 2 liter maka dibutuhkan asam sulfat 0,5 M sebanyak

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

$$0,5 \times V1 = 0,2369 \times 2000$$

$$V1 = 947,6 \text{ ml}$$

Pada pH 5 maka didapatkan nilai

$$Y = -0,0877(5) + 0,5877 = 0,1492 \text{ M}$$

Sehingga, dengan pengenceran hingga 2 liter maka dibutuhkan asam sulfat 0,5 M sebanyak

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

$$0,5 \times V1 = 0,1492 \times 2000$$

$$V1 = 596,8 \text{ ml}$$

Pada pH 6 maka didapatkan nilai

$$Y = -0,0877(6) + 0,5877 = 0,0615 \text{ M}$$

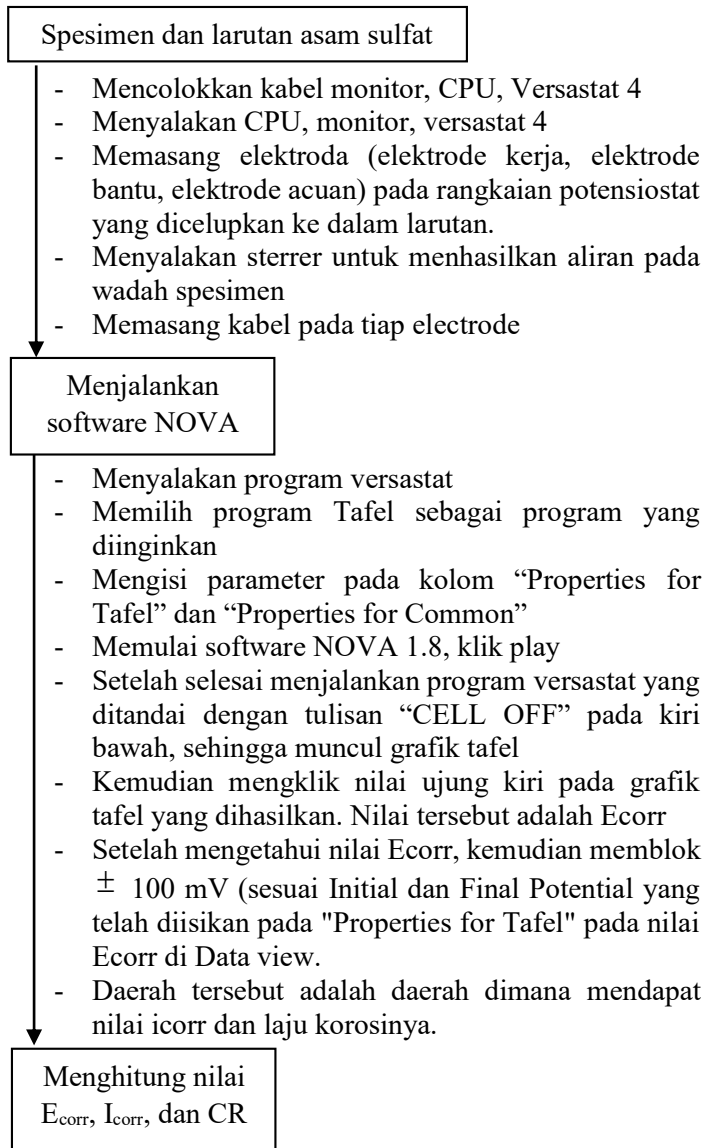
Sehingga, dengan pengenceran hingga 2 liter maka dibutuhkan asam sulfat 0,5 M sebanyak

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

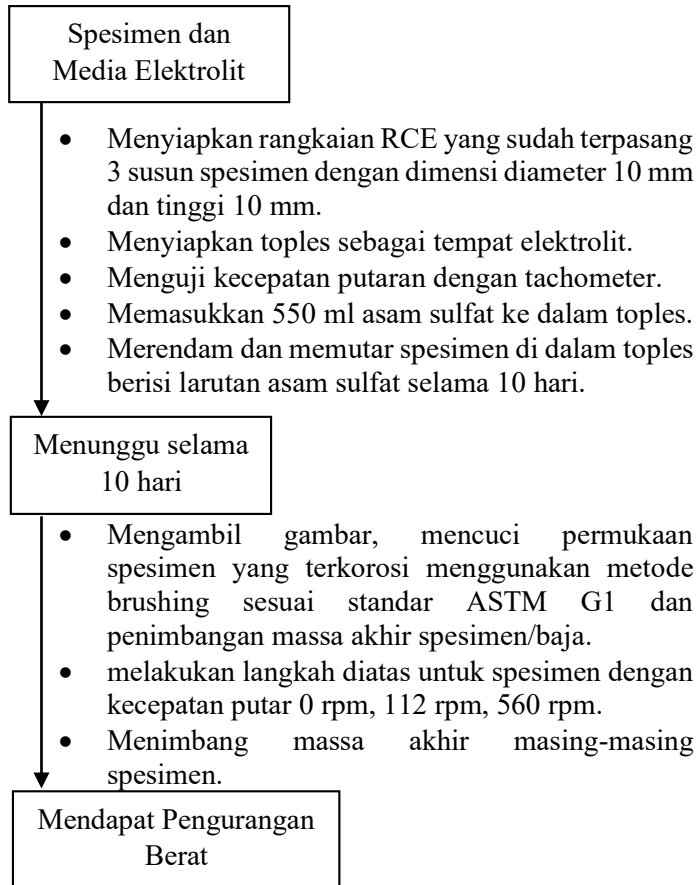
$$0,5 \times V1 = 0,0615 \times 2000$$

$$V1 = 246 \text{ ml}$$

4. Metode Pengujian elektrokimia tafel



5. Metode Pengujian *Weight Loss*



Lampiran 2. Perhitungan Laju Korosi dengan Metode *Weight Loss*

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{87600 \times W}{A \times t \times D}$$

dengan

CR : Laju korosi (mm/y)

W : Selisih massa awal dan akhir (gram)

A : Luas area yang tercelup (cm²)

t : waktu ekspos (jam)

D : Massa jenis spesimen (g/cm³)

1. Perhitungan laju korosi pada pH 3 dengan kecepatan putaran 0 rpm selama 10 hari

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{87600 \times W}{A \times t \times D}$$

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{87600 \times 0,0103}{2,9202 \times 240 \times 7,86}$$

$$\text{Laju korosi (CR)} = 0,1651 \text{ mm/y}$$

2. Perhitungan laju korosi pada pH 3 dengan kecepatan putaran 112 rpm selama 10 hari

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{87600 \times W}{A \times t \times D}$$

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{87600 \times 0,049}{2,9516 \times 240 \times 7,86}$$

$$\text{Laju korosi (CR)} = 0,7768 \text{ mm/y}$$

3. Perhitungan laju korosi pada pH 3 dengan kecepatan putaran 560 rpm selama 10 hari

$$Laju\ korosi\ (CR) = \frac{87600 \times W}{A \times t \times D}$$

$$Laju\ korosi\ (CR) = \frac{87600 \times 0,0558}{2,826 \times 240 \times 7,86}$$

$$Laju\ korosi\ (CR) = 0,9239\ mm/y$$

Lampiran 3. Perhitungan Laju Korosi dengan Metode Elektrokimia Tafel

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{KI \cdot i_{\text{corr}} \cdot EW}{\rho}$$

dengan,

CR : Laju korosi (mm/y) untuk i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$).

K1 : $3,27 \times 10^{-3} \text{ mm g}/\mu\text{A cm}$.

i_{corr} : Rapat arus saat E_{corr} $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (*exchange current density*).

ρ : density (g/cm³).

EW : *Equivalent Weight* (berat ekuivalen)

1. Perhitungan laju korosi pada pH 3 dengan kecepatan putaran 112 rpm selama 1 jam perendaman dan pemutaran

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{3,27 \times 10^{-3} \times 131,4 \times 27,925}{7,86}$$

$$\text{Laju korosi (CR)} = 1,527 \text{ mm/y}$$

2. Perhitungan laju korosi pada pH 3 dengan kecepatan putaran 560 rpm selama 1 jam perendaman dan pemutaran

$$\text{Laju korosi (CR)} = \frac{3,27 \times 10^{-3} \times 187,5 \times 27,925}{7,86}$$

$$\text{Laju korosi (CR)} = 2,178 \text{ mm/y}$$

Lampiran 4. Perhitungan Kecepatan Putaran Fluida

Karakteristik aliran fluida berdasarkan *Reynold number*:

$Re < 200$ (aliran laminar)

$Re = 200$ (aliran transisi)

$Re > 200$ (aliran turbulen)

Untuk mendapatkan nilai *Reynold Number* harus mengkonversi kecepatan putar menjadi kecepatan linear, kemudian bisa dihitung Re :

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

Dimana : U = Kecepatan Linear (cm/s²)

$$\pi = 3,14$$

D = Diameter Spesimen (cm)

F = Kecepatan Putar (rpm)

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Dimana : Re = *Reynold Number*

ρ = Massa jenis (g/cm³)

U = Kecepatan Linear (m/s)

D = Diameter Spesimen (cm)

μ = Viskositas dinamik (g/cm.s)

Perhitungan *Reynold Number* pada 0 rpm :

- menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 0}{60}$$

$$U = 0$$

- menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0 \times 1 \times 1}{0,00891}$$

$Re = 0$ (aliran statis)

Perhitungan *Reynold Number* pada 112 rpm :

- menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 112}{60}$$

$$U = 5,86 \text{ cm/s}$$

- menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{5,86 \times 1 \times 1}{0,00891}$$

$$Re = 657,837 \text{ (aliran turbulen)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 560 RPM :

- menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 560}{60}$$

$$U = 29,3 \text{ cm/s}$$

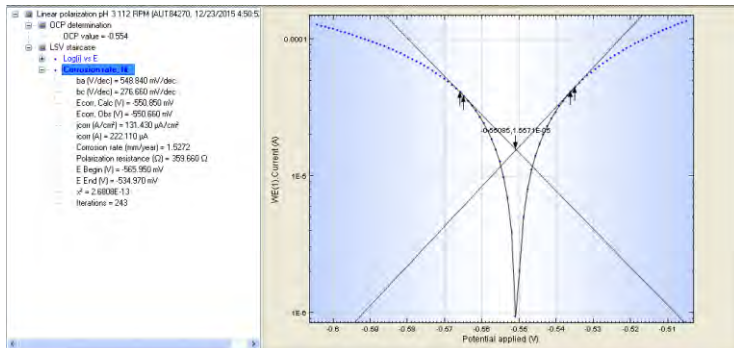
- menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

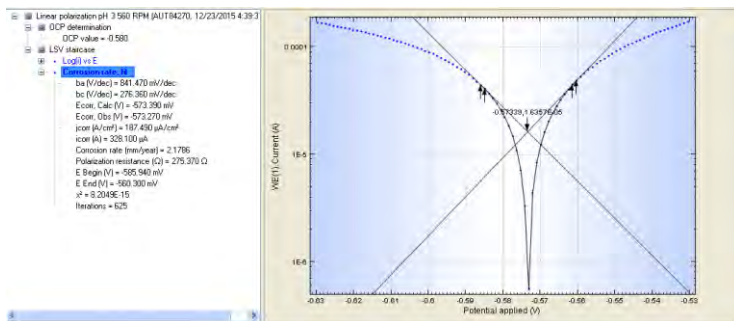
$$Re = \frac{29,3 \times 1 \times 1}{0,00891}$$

$$Re = 3289,2 \text{ (aliran turbulen)}$$

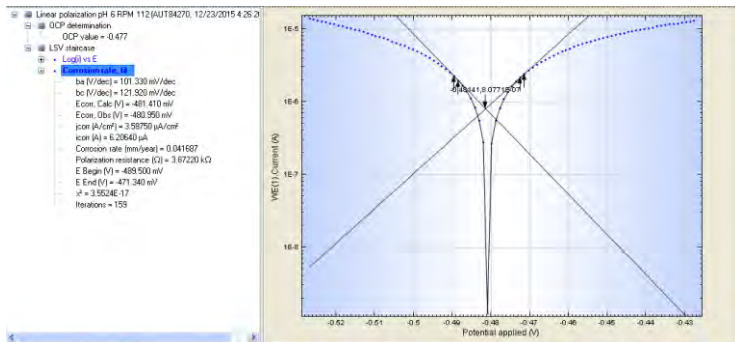
Lampiran 5. Hasil Analisis Ekstrapolasi Linier –Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)



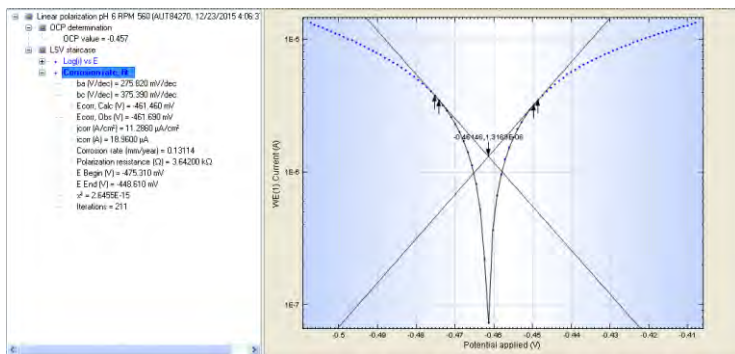
Gambar 1. Hasil pengujian polarisasi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; 112 rpm



Gambar 2. Hasil pengujian polarisasi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; 560 rpm



Gambar 3. Hasil pengujian polarisasi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6; 112 rpm

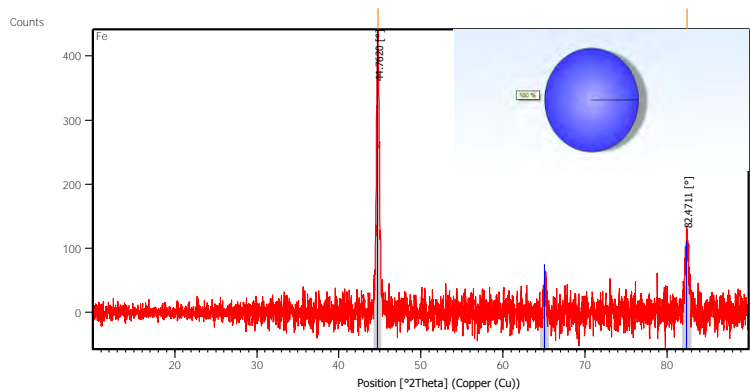


Gambar 4. Hasil pengujian polarisasi baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 6; 560 rpm

Lampiran 6. Hasil Analisis Pengujian XRD

a. Hasil uji XRD baja St 42 tanpa perlakuan

Main Graphics, Analyze View: (*Bookmark 2*)



Gambar 5. Hasil pengujian XRD baja St 42 tanpa perlakuan

Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.7620	435.93	0.4015	2.02471	100.00
82.4711	108.38	0.5353	1.16958	24.86

Pattern List: (*Bookmark 4*)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-071-4648	84	Iron	0.037	0.988	Fe

Hasil Analisis ICDD Fe

Name and formula

Reference code:	01-089-7194
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229
a (Å):	2.8664
b (Å):	2.8664
c (Å):	2.8664
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	23.55
Z:	2.00
RIR:	10.77

Status, subfiles and quality

Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic

	Common Phase
	Forensic
	ICSD Pattern
	Inorganic
	Mineral
Quality:	Indexed (I)

Comments

ANX:	N
Creation Date:	11/20/2008
Modification Date:	1/19/2011
ANX:	N
Analysis:	Fe1
Formula from original source:	Fe
ICSD Collection Code:	76747
Calculated Pattern Original Remarks:	Stable below 1185 K (2nd ref., Tomaszewski), 1185- 1667 K: Fm3-m, m.p. 1811 K. Cell at 427 K: 2.8707, at 533 K: 2.8743, at 639 K: 2.8790. Temperature of Data Collection: 293 K. Minor Warning: No R factors reported/abstracted. Wyckoff Sequence: a(IM3-M). Unit Cell Data Source: Single Crystal.

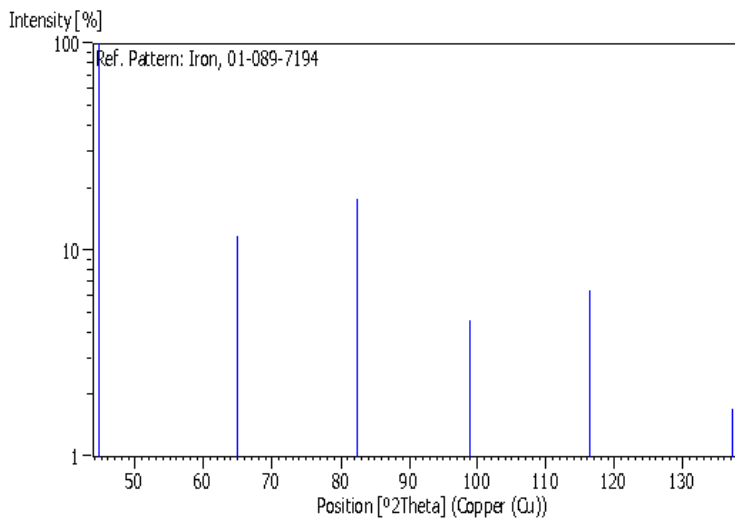
References

Primary reference:	Kochanovska, A., <i>Golden Book of Phase Transitions</i> , Wroclaw, 1 , 1, (2002)
Structure:	Kochanovska, A., <i>Phys., Neder. Tijds. Natuur. (The Hague)</i> , 15 , 191, (1949)

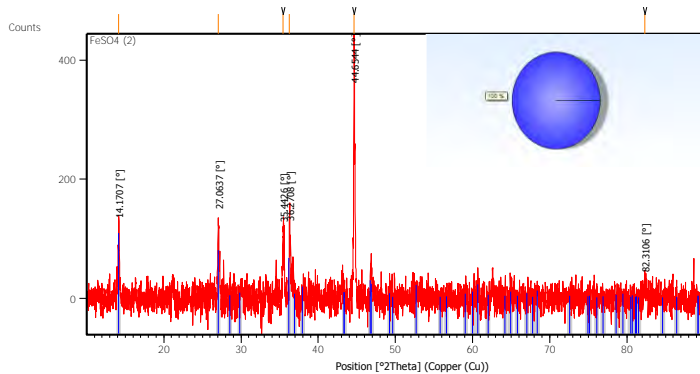
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02680	44.674	100.0
2	2	0	0	1.43320	65.023	11.7
3	2	1	1	1.17020	82.335	17.7
4	2	2	0	1.01340	98.949	4.6
5	3	1	0	0.90640	116.390	6.4
6	2	2	2	0.82750	137.144	1.7

Stick Pattern



b. Hasil uji XRD baja St 42 pH 3; tanpa kecepatan putaran



Gambar 6. Hasil pengujian XRD baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; tanpa kecepatan

Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1707	112.54	0.3346	6.25012	25.43
27.0637	126.54	0.2007	3.29481	28.59
35.4426	106.79	0.2342	2.53275	24.13
36.2708	110.00	0.2007	2.47680	24.85
44.6544	442.59	0.0836	2.02934	100.00
82.3106	22.59	0.4015	1.17145	5.10

Pattern List: (**Bookmark 4**)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01- 070- 0714	29	Iron Hydroxide Oxide	-0.022	0.241	Fe O O H

Hasil Analisis ICDD FeOOH

Name and formula

Reference code:	01-070-8045
Mineral name:	Lepidocrocite
Compound name:	Iron Oxide Hydroxide
Common name:	I=iron (III) oxide hydroxide
Empirical formula:	FeHO ₂
Chemical formula:	FeO (OH)

Crystallographic parameters

Crystal system:	Orthorhombic
Space group:	Cmcm
Space group number:	63
a (Å):	3.0720
b (Å):	12.5160
c (Å):	3.8730
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000

Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	148.91
Z:	4.00
RIR:	3.60

Subfiles and quality

Subfiles:	Common Phase Forensic ICSD Pattern Inorganic Mineral
Quality:	Star (S)

Comments

ANX:	AX2
Creation Date:	11/20/2008
Modification Date:	1/19/2011
ANX:	AX2
Analysis:	H1 Fe1 O2
Formula from original source:	Fe O (O H)
ICSD Collection Code:	093948
Calculated Pattern Original Remarks:	Stable above 663 K (2nd ref., Tomaszewski), below P312
Wyckoff Sequence:	c3 (CMCM)
Unit Cell Data Source:	Single Crystal.

References

Primary reference:	<i>Calculated from ICSD using</i>
--------------------	-----------------------------------

Structure:

POWD-12++

Zhukhlistov, A.P.,

Kristallografiya, **46**, 805,(2001)

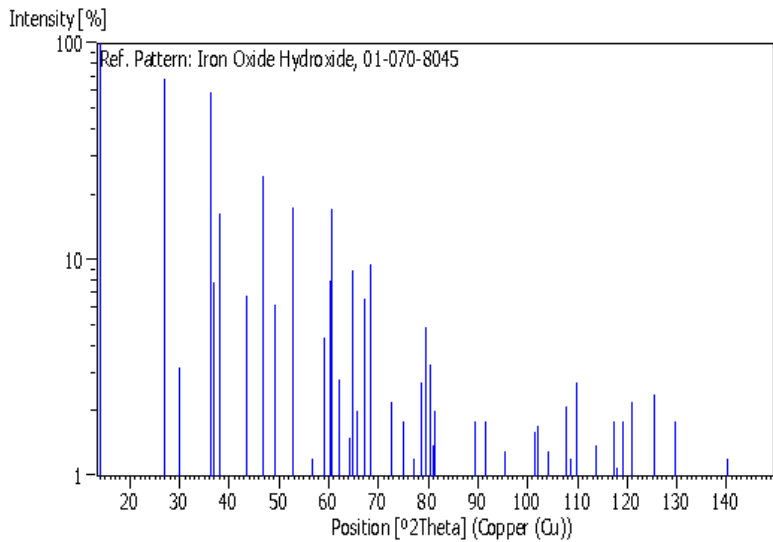
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	6.25800	14.141	100.0
2	0	2	1	3.29330	27.053	68.7
3	0	4	0	3.12900	28.503	0.7
4	1	1	0	2.98340	29.926	3.2
5	1	3	0	2.47370	36.287	59.2
6	0	4	1	2.43390	36.901	7.9
7	1	1	1	2.36350	38.042	16.5
8	1	3	1	2.08600	43.341	6.8
9	0	6	0	2.08600	43.341	6.8
10	1	5	0	1.94050	46.776	24.4
11	0	0	2	1.93650	46.879	21.2
12	0	2	2	1.85000	49.212	6.2
13	0	6	1	1.83660	49.595	0.8
14	1	5	1	1.73500	52.716	17.4
15	0	4	2	1.64670	55.781	0.2
16	1	1	2	1.62430	56.619	1.2
17	0	8	0	1.56450	58.992	4.4
18	2	0	0	1.53600	60.198	8.0
19	1	3	2	1.52480	60.687	17.3
20	2	2	0	1.49170	62.181	2.8
21	0	8	1	1.45060	64.149	1.5
22	1	7	1	1.43530	64.916	9.0
23	0	6	2	1.41920	65.745	2.0
24	2	2	1	1.39200	67.198	6.6
25	2	4	0	1.37880	67.928	0.2
26	1	5	2	1.37070	68.385	9.6
27	2	4	1	1.29900	72.740	2.2
28	1	9	0	1.26690	74.893	0.8
29	0	2	3	1.26440	75.067	1.8

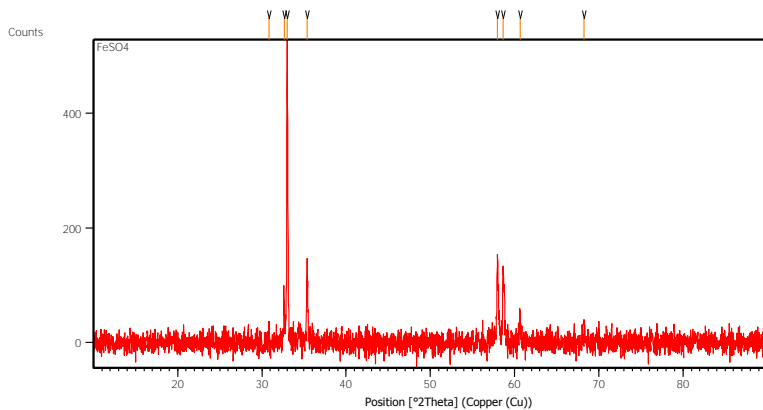
30	0	10	0	1.25160	75.970	0.1
31	2	6	0	1.23690	77.037	1.2
32	0	8	2	1.21700	78.536	2.7
33	1	9	1	1.20340	79.599	4.9
34	2	0	2	1.20340	79.599	4.9
35	0	4	3	1.19340	80.401	0.8
36	0	10	1	1.19100	80.597	3.3
37	1	1	3	1.18480	81.106	1.4
38	2	2	2	1.18180	81.355	2.0
39	2	6	1	1.17820	81.657	0.4
40	1	3	3	1.14450	84.605	0.2
41	2	4	2	1.12320	86.598	0.1
42	2	8	0	1.09600	89.309	1.8
43	1	5	3	1.07490	91.553	1.8
44	1	11	0	1.06700	92.428	0.7
45	1	9	2	1.06020	93.198	0.7
46	2	8	1	1.05460	93.843	0.7
47	0	10	2	1.05120	94.240	0.1
48	2	6	2	1.04240	95.287	1.3
49	0	12	0	1.04240	95.287	1.3
50	1	11	1	1.02870	96.975	0.1
51	3	1	0	1.02060	98.007	0.1
52	0	12	1	1.00710	99.791	0.4
53	0	8	3	0.99580	101.347	0.4
54	3	3	0	0.99450	101.530	1.6
55	1	7	3	0.99080	102.056	1.7
56	3	1	1	0.98690	102.617	0.9
57	2	2	3	0.97620	104.199	1.3
58	2	10	0	0.97030	105.099	0.1
59	0	0	4	0.96820	105.424	0.8
60	3	3	1	0.96320	106.209	0.1
61	0	2	4	0.95690	107.220	0.4
62	2	8	2	0.95390	107.710	2.1
63	3	5	0	0.94780	108.726	1.2
64	2	4	3	0.94240	109.647	0.8

65	2	10	1	0.94120	109.855	2.7
66	1	11	2	0.93450	111.033	0.9
67	0	4	4	0.92500	112.766	0.1
68	3	5	1	0.92060	113.594	1.4
69	1	1	4	0.92060	113.594	1.4
70	0	12	2	0.91830	114.034	0.4
71	1	13	0	0.91830	114.034	0.4
72	1	9	3	0.90420	116.841	0.2
73	3	1	2	0.90290	117.110	0.3
74	1	3	4	0.90160	117.380	1.8
75	0	10	3	0.89860	118.012	1.1
76	0	14	0	0.89390	119.023	1.8
77	1	13	1	0.89390	119.023	1.8
78	3	3	2	0.88460	121.101	2.2
79	0	6	4	0.87830	122.574	0.3
80	0	14	1	0.87110	124.327	0.1
81	1	5	4	0.86610	125.593	2.4
82	3	7	1	0.86610	125.593	2.4
83	2	12	0	0.86290	126.426	0.3
84	3	5	2	0.85130	129.607	1.8
85	2	12	1	0.84220	132.306	0.5
86	2	8	3	0.83550	134.430	0.4
87	1	13	2	0.83000	136.273	0.3
88	3	9	0	0.82460	138.182	0.3
89	0	8	4	0.82330	138.659	0.7
90	1	11	3	0.82240	138.992	0.1
91	2	0	4	0.81910	140.245	1.2
92	0	14	2	0.81220	143.032	0.7
93	2	2	4	0.81220	143.032	0.7
94	3	9	1	0.80650	145.537	0.2
95	1	15	0	0.80520	146.138	0.2
96	3	1	3	0.80060	148.373	0.6

Stick Pattern



c. Hasil uji XRD baja St 42 pH 3; 560 rpm



Gambar 7. Hasil pengujian XRD baja St 42 pada larutan asam sulfat pH 3; 560 rpm

Peak List: (*Bookmark 3*)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.8684	20.92	0.1673	2.89683	3.93
32.6492	76.66	0.1004	2.74278	14.41
32.9915	532.12	0.1004	2.71510	100.00
35.3705	116.64	0.1673	2.53775	21.92
57.9636	138.73	0.1338	1.59110	26.07
58.6230	126.68	0.1004	1.57476	23.81
60.6733	39.03	0.2676	1.52637	7.34
68.2234	23.07	0.4015	1.37469	4.34

Hasil Analisis ICDD Fe₂O₃

Name and formula

Reference code: 00-003-0800

Mineral name: Hematite
Compound name: Iron Oxide
Common name: α -Fe₂O₃

Empirical formula: Fe₂O₃
Chemical formula: Fe₂O₃

Crystallographic parameters

Crystal system:	Rhombohedral
Space group:	R-3c
Space group number:	167

a (Å):	5.0350
b (Å):	5.0350
c (Å):	13.7260
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000

Measured density (g/cm ³):	5.26
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	301.35
Z:	6.00

RIR:	-
------	---

Status, subfiles and quality

Status:	Marked as deleted by ICDD
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic
	Common Phase
	Excipient
	Forensic
	Inorganic
	Mineral
	Pharmaceutical
	Pigment/Dye
Quality:	Low precision (O)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Delete duplicate: Deleted: similar to 00-001-1053, Rinn, August 17, 1953.
Melting Point: 1633 K.

References

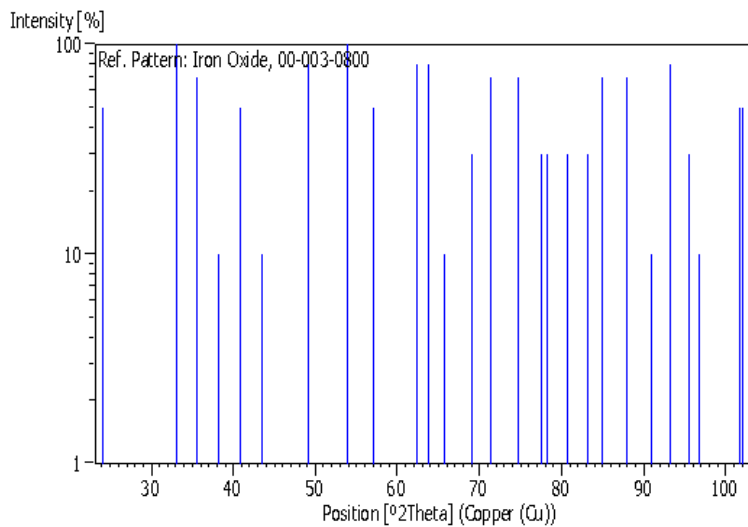
Primary reference: Bohn, Ganter., *Z. Kristallogr., Kristallgeom., Kristallphys., Kristallchem.*, **69**, 19, (1928)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.70000	24.033	50.0
2	1	0	4	2.71000	33.027	100.0
3	1	1	0	2.53000	35.452	70.0
4				2.35000	38.269	10.0
5	1	1	3	2.21000	40.798	50.0
6	2	0	2	2.08000	43.473	10.0
7	0	2	4	1.85000	49.212	80.0
8	1	1	6	1.70000	53.888	100.0
9	1	2	2	1.61000	57.168	50.0
10	2	1	4	1.49000	62.260	80.0
11	3	0	0	1.46000	63.687	80.0
12				1.42000	65.703	10.0
13				1.36000	68.999	30.0
14				1.32000	71.403	70.0
15				1.27000	74.679	70.0
16	3	0	6	1.23000	77.549	30.0
17				1.22000	78.306	30.0
18	3	1	2	1.19000	80.678	30.0

19	0	2	10	1.16000	83.219	30.0
20	1	3	4	1.14000	85.017	70.0
21				1.11000	87.889	70.0
22				1.08000	90.998	10.0
23				1.06000	93.221	80.0
24	4	0	4	1.04000	95.578	30.0
25	1	3	7	1.03000	96.811	10.0
26				0.99300	101.743	50.0
27				0.99100	102.027	50.0

Stick Pattern



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Mohammad Fajar Rahman, merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Suriyadi dan Ibu Sutrani yang lahir di Sumenep, 23 Desember 1994. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SDN Kalianget Barat III, Kec. Kalianget. SMPN 1 Kalianget. SMAN 3 Pamekasan. Kemudian melanjutkan studi S1 di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2012.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) FTI-ITS sebagai Staf Departemen Keilmiahan HMMT FTI-ITS (2013-2014) dan Kepala Divisi Rumah Tangga Departemen Jaringan dan Rumah Tangga JMMI ITS (2014/2015). Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Fisika Material (2014-2015) dan Asisten Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (2015-2016). Pencapaian prestasi akademik yang pernah diraih penulis adalah PKM-P didanai dengan judul *fuel cell membrane* (2013-2014), PKM-GT didanai (2013-2015), serta menjadi salah satu delegasi dalam YESS Summit ASEAN 2015. Selain itu penulis pernah kerja praktek di PT. Pertamina Geothermal Energy area Kamojang, Jawa Timur. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan. Selain itu, penulis juga telah bersertifikasi *Corrosion Engineer* level 1 oleh INDOCOR pada tahun 2015.

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi di 087854853788/085645393923 atau bisa hubungi alamat email moh.fajarrahman@gmail.com

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1987. *ASM Handbook Volume 13: Corrosion*. ASM International Handbook Committee.
- _____. 1987. *ASM Handbook Volume 13A: Corrosion: Fundamentals Testing, and Protection*. ASM International Handbook Committee.
- _____. 2004. *Standard Guide for Conducting Corrosion Test in Field Applications*. In ASTM G1-03. ASTM International.
- _____. (2004). *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. In ASTM G31-72. ASTM International.
- Al-Turkustani, Aisha. M, et al. (2010). *Corrosion and Corrosion Inhibition of Mild Steel in H₂SO₄ Solutions by Zizyphus Spina-Christi as Green Inhibitor*. International Journal of Chemistry., vol 2, No. 2.
- Callister, D. William. 2010. *Materials Science and Engineering an Introduction*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Eliassen, R., et al. (1956). *AWWA*. Vol. 48. pp. 1005-1018
- Ellison, B.T, and Schmeal, W. R. (1978). *Corrosion of Steel in Concentrated Sulfuric Acid*. Electrochemical Society, vol 125. p 524-531. Texas: Shell Development Company.
- Fontana, M.G. (1978). *Corrosion Engineering 2nd ed*. Mc Graw-Hill Company : USA
- Gabe, D.R., and Walsh, F.C. (1983). *The Rotating Cylinder Electrode : a Review of Development*. Journal of Applied Electrochemistry 13 : 3-22
- Gusti, Diah R. (2011). *Laju Korosi Baja dalam Larutan Asam Sulfat dan dalam Larutan Natrium Klorida*. Jurusan FMIPA FKIP Universitas Jambi
- Harsisto, et al. (2001). *Kinerja Proteksi Anodik Baja ASTM JIS D 3131-SPHC dalam Asam Sulfate Pekat*. Serpong : Puslitbang Metalurgi (P3M)-LIPI,. Vo 2. no. 3. Pp 19-25

- Hedin, S. Robert et al. (1988). *Implications of Sulphate-Reduction and Pyrite-Formation Process for Water Quality in a Constructed Wetland: Preliminary Observations*. Mine Drainage and Surface Mine Reclamation Conference. pp. 382-388. Pittsburgh, PA.
- Heitz, E. (1968). *Effect of Flow Rate on Corrosion in Aqueous Media*. Commission of the European Communities : Deutschland
- Hinds, Gareth. (1999). *The Electrochemistry of Corrosion*. http://www.npl.co.uk/upload/pdf/the_electrochemistry_of_corrosion_with_figures.pdf
- Pine Research Instrumentation. (2006). *Study of Mass-Transport Limited Corrosion Using Pine Rotated Cylinder Electrodes*. Pine Research Instrumentation Rev 002
- Scheers, P.V. (1992). *The Effects of Flow Velocity and pH on The Corrosion Rate of Mild Steel in Synthetic Minewater*. J. S. Afr. Inst. Min. Metall., vol 92, no. 10. pp. 275-281
- Schmitt, H.G dan M. Bakali. (2010). *Flow Assisted Corrosion*. Elsevier B.V : Germany
- Silverman. D.C., (1988). *Rotating Cylinder Electrode – Geometry Relationships for Prediction of Velocity-Sensitive Corrosion*. Corrosion-NACE., vol 44. no. 1.
- Tamura, Hiroki. (2008). *The Role of Rusts in Corrosion and Iron and Steel*. <http://hdl.handle.net/2115/34142>
- Trethewey, K.R., dan Chamberlain, J. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*. PT. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Zaki, Ahmad. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control First Edition*. Elsevier, Butterworth-Heinemann : USA.